



**FINAL PROJECT-TL141584**

***EFFECT OF SOIL PH AND SCRATCH  
DEFECT VARIATION ON COATING TO THE  
NEEDS OF THE CURRENT PROTECTION  
USING IMPRESSED CURRENT CATHODIC  
PROTECTION (ICCP) SYSTEM ON AISI 1045  
STEEL***

Faris Putra Ardiansyah  
NRP 2711 100 135

Advisor  
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA  
Tubagus Noor R. S.T., M.Sc

MATERIALS AND METALLURGYCAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



TUGAS AKHIR - TL141584

**PENGARUH PH TANAH DAN VARIASI CACAT  
GORES LAPIS LINDUNG TERHADAP  
KEBUTUHAN ARUS PROTEKSI SISTEM  
*IMPRESSED CURRENT CATHODIC*  
*PROTECTION (ICCP)* PADA BAJA AISI 1045**

Faris Putra Ardiansyah  
NRP 2711 100 135

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA  
Tubagus Noor R. S.T., M.Sc

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**PENGARUH PH TANAH DAN VARIASI CACAT GORES  
LAPIS LINDUNG TERHADAP KEBUTUHAN ARUS  
PROTEKSI DENGAN SISTEM *IMPRESSED CURRENT*  
*CATHODIC PROTECTION* (ICCP) PADA BAJA AISI 1045**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan  
Program Studi-S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**FARIS PUTRA ARDIANSYAH**

NRP. 2711 100 135

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
2. Tubagus Noor R. S.T., M.Sc



**SURABAYA**

**Januari 2015**

***EFFECT OF SOIL PH AND SCRATCH DEFECT  
VARIATION ON COATING TO THE NEEDS OF THE  
CURRENT PROTECTION USING IMPRESSED CURRENT  
CATHODIC PROTECTION (ICCP) SYSTEM ON AISI 1045***

*Name* : Faris Putra Ardiansyah  
*Student Number* : 2711 100 135  
*Subject* : *Materials and Metallurgical Engineering*  
*Advisor* : 1. Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA  
2. Tubagus Noor Rohmannudin S.T.,M.Sc.

***Abstract***

*Steel is increasingly being used in industry, especially in the use of drains, gas lines, as well as construction materials. But in use there are many problems that occur. One of the main causes that lead to the failure of the materials impact on the economic and environmental value is the corrosion of the material. Corrosion itself is damage or degradation of the metal due to an oxidation reaction between the metal with many substances that exist in the environment around them and form undesirable compounds. Corrosion can not be prevented, but still can be controlled its speed. One of the corrosion control process in a material can be used a coating and cathodic protection by providing a forced flow. At this time the research conducted will learn about the effect of the scratch defect variation and the soil pH to the needs of current protection in the forced current cathodic protection system (ICCP). The variation of given scratch are rectangular and circular with each area of 10 mm<sup>2</sup>, 50 mm<sup>2</sup>, 100 mm<sup>2</sup>, 150 mm<sup>2</sup>, 250 mm<sup>2</sup> and 500 mm<sup>2</sup>. While differences in soil pH used is pH 3, pH 7, and pH 11. Then there is also a specimen without scratche and without layers of protection that is useful as a comparison. In the ICCP system installation, AISI 1045 steel is used as the cathode and graphite as the anode. The system uses a rectifier that is useful for current rectifier. The flow of the ICCP protection is set such that the value of the potential*

*difference can reach -850 mV against the reference electrode Cu / CuSO<sub>4</sub>. Measurement of the current protection on the ICCP system performed during the 7 days with daily data retrieval. Having obtained the measurement of the current value of protection, showed that the current value of the greatest protection in broad strokes, rectangular 500 mm<sup>2</sup> with acidic soils (pH 3) that is equal to 1.696 mA. While the current value of the smallest protection in circular scratch 10 mm<sup>2</sup> with alkaline soils (pH 11) that is equal to 0.014 mA. The influence of these two variables were calculated using multiple regression statistical analysis so as to get the equation  $Y = 0.127 + 0.0024 X_1 + 0.00031 X_2$ . Where the value of  $X_1$  as soil pH conditions,  $X_2$  as scratch defect variations, and  $Y$  as current protection.*

***Keywords : Protection Current, Scratch Defect Variations, Soil pH, ICCP, AISI 1045 Steel***

**PENGARUH PH TANAH DAN VARIASI CACAT GORES  
LAPIS LINDUNG TERHADAP KEBUTUHAN ARUS  
PROTEKSI SISTEM *IMPRESSED CURRENT CATHODIC  
PROTECTION (ICCP)* PADA BAJA AISI 1045**

Nama Mahasiswa : Faris Putra Ardiansyah  
NRP : 2711 100 135  
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS  
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA.  
2. Tubagus Noor R. S.T., M.Sc.

**Abstrak**

Baja semakin banyak digunakan dalam dunia industri terutama pada penggunaan untuk saluran air, saluran gas, maupun sebagai material konstruksi. Namun pada penggunaannya terdapat banyak masalah yang terjadi. Salah satu penyebab utama yang mengakibatkan kegagalan material yang dampaknya berimbas pada nilai ekonomis dan lingkungan ialah timbulnya korosi pada material tersebut. Korosi sendiri merupakan kerusakan atau degradasi pada suatu logam akibat terjadinya reaksi oksidasi antara satu logam dengan banyak zat yang ada dilingkungan sekelilingnya dan membentuk senyawa yang tidak diinginkan terbentuknya. Korosi tidak dapat dicegah namun masih dapat dikendalikan kelajuannya. Salah satu proses pengendalian korosi pada suatu material dapat menggunakan pelapisan/*coating* dan perlindungan katoda dengan memberikan arus paksa. Pada penelitian yang dilakukan kali ini akan mempelajari mengenai pengaruh dari variasi luas goresan lapis lindung dan pH tanah terhadap kebutuhan arus proteksi pada sistem proteksi katodik arus paksa (ICCP). Luas goresan yang diberikan berbentuk persegi panjang dan lingkaran dengan luasan masing-masing sebesar 10 mm<sup>2</sup>, 50 mm<sup>2</sup>, 100 mm<sup>2</sup>, 150 mm<sup>2</sup>, 250 mm<sup>2</sup>, dan 500 mm<sup>2</sup>. Sedangkan perbedaan pH pada tanah yang digunakan ialah



pH 3, pH 7, dan pH 11. Kemudian juga terdapat spesimen tanpa goresan dan tanpa lapis lindung yang berguna sebagai pembanding. Pada instalasi sistem ICCP, baja AISI 1045 digunakan sebagai katoda dan grafit sebagai anodanya. Sistem menggunakan *rectifier* yang berguna untuk penyearah arus. Adapun arus proteksi pada ICCP diatur sedemikian rupa hingga nilai dari beda potensial dapat mencapai -850 mV terhadap elektroda referensi Cu/CuSO<sub>4</sub>. Pengukuran arus proteksi pada sistem ICCP dilakukan selama 7 hari dengan pengambilan data setiap harinya. Setelah didapatkan pengukuran dari nilai arus proteksi, didapatkan hasil bahwa nilai arus proteksi terbesar pada luas goresan berbentuk persegi panjang 500 mm<sup>2</sup> dengan kondisi tanah yang asam (pH 3) yaitu sebesar 1,696 mA. Sedangkan nilai arus proteksi terkecil pada luas goresan berbentuk lingkaran 10 mm<sup>2</sup> dengan kondisi tanah yang basa (pH 11) yaitu sebesar 0,014 mA. Pengaruh dari dua variabel tersebut dihitung menggunakan analisa statistik regresi berganda sehingga mendapatkan persamaan  $Y = 0,127 + 0,0024 X_1 + 0,00031 X_2$ . Dimana nilai  $X_1$  sebagai kondisi pH tanah,  $X_2$  sebagai luas cacat goresan, dan  $Y$  sebagai arus proteksinya.

***Kata Kunci : Arus Proteksi, Baja AISI 1045, ICCP, pH Tanah, Variasi Cacat Goresan***

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Perumusan Masalah .....	2
I.3. Tujuan Penelitian .....	2
I.4. Batasan Masalah .....	2
I.5. Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
II.1. Teori Dasar Korosi .....	5
II.2. Korosi Baja Karbon di Dalam Tanah.....	7
II.3. Karakteristik Baja AISI 1045 .....	8
II.4. Anoda .....	9
II.4.1. Jenis-Jenis Anoda ICCP .....	10
II.4.2. Karakteristik Anoda Grafit.....	11
II.5. Elektroda Acuan .....	13
II.5.1. Jenis-Jenis Elektroda Acuan.....	13
II.6. Karakteristik Tanah .....	14
II.6.1. Kandungan Air dan Kelembaban .....	14
II.6.2. Derajat Aerasi dan Permeabilitas Tanah ....	15
II.6.3. pH Tanah .....	15
II.6.4. Resistivitas Tanah .....	20
II.7. Pengendalian Korosi.....	21
II.7.1. Proteksi Katodik.....	21
II.7.2. Proteksi Katodik Arus Paksa.....	22
II.7.2.1. Mekanisme Proteksi Katodik Arus Paksa .....	23
II.7.2.2. Perhitungan Desain ICCP .....	25

II.7.2.3. Keuntungan dan Kerugian.....	28
II.7.3. <i>Coating</i> (Pelapisan).....	29
II.7.3.1. Bahan Penyusun <i>Coating</i> .....	30
II.7.3.2. Parameter Dalam Menggunakan <i>Coating</i> .....	32
II.7.3.3. Preparasi <i>Coating</i> .....	33
II.7.3.4. Macam-Macam Proses <i>Coating</i> ....	34
II.7.3.5. Kerusakan/Degradasi pada <i>Coating</i> .....	39
II.8. Pengukuran Potensial Setengah Sel .....	41
II.9. Analisis Statistik Hasil Pengujian .....	44
II.9.1. Regresi Linier Sederhana .....	44
II.9.2. Regresi Linier Berganda.....	44
II.9.3. Uji Korelasi Sederhana .....	45
II.9.4. Uji Korelasi Berganda.....	46
II.9.5. Uji Signifikan Simultan.....	47
II.10. Kajian Penelitian Sebelumnya .....	47
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
III.1. Diagram Alir Penelitian.....	51
III.2. Bahan Penelitian.....	53
III.3. Alat Penelitian.....	58
III.4. Langkah-Langkah Penelitian.....	63
III.4.1. Preparasi Spesimen (Katoda) .....	63
III.4.2. Preparasi Anoda.....	65
III.4.3. Preparasi Media Tanah .....	66
III.4.4. Pembuatan Rangkaian ICCP .....	67
III.4.5. Pengukuran Arus Proteksi.....	67
III.4.6. Rancangan Penelitian.....	68
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b>	
IV.1. Analisa Komposisi Kimia .....	72
IV.2. Pengukuran Potensial Awal .....	72
IV.3. Pengukuran Arus Proteksi .....	74
IV.3.1. Perbandingan Hasil Pengukuran Arus Proteksi Terhadap Derajat Keasaman Tanah.....	75

IV.3.1.1.	Hasil Pengukuran Arus Proteksi Baja Tanpa Goresan .....	76
IV.3.1.2.	Hasil Pengukuran Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 10 mm <sup>2</sup> .....	77
IV.3.1.3.	Hasil Pengukuran Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 50 mm <sup>2</sup> .....	78
IV.3.1.4.	Hasil Pengukuran Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 100 mm <sup>2</sup> .....	80
IV.3.1.5.	Hasil Pengukuran Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 150 mm <sup>2</sup> .....	81
IV.3.1.6.	Hasil Pengukuran Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 250 mm <sup>2</sup> .....	83
IV.3.1.7.	Hasil Pengukuran Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 500 mm <sup>2</sup> .....	84
IV.3.1.8.	Hasil Pengukuran Arus Proteksi Baja dengan Tanpa <i>Coating</i> .....	86
IV.3.2.	Perbandingan Hasil Pengukuran Arus Proteksi Terhadap Luas Goresan .....	88
IV.3.2.1.	Hasil Pengukuran Arus Proteksi dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3 .....	88
IV.3.2.2.	Hasil Pengukuran Arus Proteksi dalam Lingkungan Tanah dengan pH 7 .....	90
IV.3.2.3.	Hasil Pengukuran Arus Proteksi dalam Lingkungan Tanah dengan pH 11 .....	92
IV.4.	Analisa Hasil Pengukuran Arus Proteksi dengan Menggunakan Metode Statistika .....	95

IV.4.1. Nilai Rata-Rata Kebutuhan Arus Proteksi.....	95
IV.4.2. Persamaan Regresi Linier Sederhana .....	98
IV.4.3. Persamaan Regresi Berganda .....	100
IV.4.4. Uji Korelasi <i>Pearson</i> .....	100
IV.4.5. Uji Korelasi Berganda.....	101
IV.4.6. Uji Signifikan Simultan.....	102
IV.5. Hasil Foto Makro .....	102
IV.6. Pembahasan .....	106
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
V.1. Kesimpulan .....	111
V.2. Saran .....	111
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>xxvii</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel II.1.</b> Komposisi Kimia Baja AISI 1045 .....	8
<b>Tabel II.2.</b> Jenis-Jenis Anoda Sistem ICCP.....	11
<b>Tabel II.3.</b> Laju Konsumsi Anoda Grafit.....	12
<b>Tabel II.4.</b> Karakteristik Anoda Grafit .....	12
<b>Tabel II.5.</b> Elektroda Pembanding.....	14
<b>Tabel II.6.</b> Reaksi Tanah Terhadap Tingkat Keasamannya ...	17
<b>Tabel II.7.</b> Tabel Nilai Resistivitas Tanah .....	20
<b>Tabel II.8.</b> Tingkat Korosifitas Terhadap Nilai Resistivitas Tanah .....	21
<b>Tabel II.9.</b> Deret Daya Gerak Listrik.....	36
<b>Tabel II.10.</b> Kondisi Permukaan Logam Baja pada Berbagai Nilai Potensial.....	43
<b>Tabel III.1.</b> Komposisi kimia baja AISI 1045 .....	53
<b>Tabel III.2.</b> Spesifikasi Anoda Grafit .....	54
<b>Tabel III.3.</b> Rencana Pengukuran Arus Proteksi .....	69
<b>Tabel IV.1.</b> Hasil Pengujian Spektrometer .....	71
<b>Tabel IV.2.</b> Nilai Potensial Awal Baja dalam Kondisi Tanah dengan pH 3 .....	72
<b>Tabel IV.3.</b> Nilai Potensial Awal Baja dalam Kondisi Tanah dengan pH 7 .....	73
<b>Tabel IV.4.</b> Nilai Potensial Awal Baja dalam Kondisi Tanah dengan pH 11 .....	74
<b>Tabel IV.5.</b> Nilai Rata-Rata Kebutuhan Arus Proteksi Baja pada Kondisi Tanah dengan pH 3 .....	95
<b>Tabel IV.6.</b> Nilai Rata-Rata Kebutuhan Arus Proteksi Baja pada Kondisi Tanah dengan pH 7 .....	96
<b>Tabel IV.7.</b> Nilai Rata-Rata Kebutuhan Arus Proteksi Baja pada Kondisi Tanah dengan pH 11 .....	97
<b>Tabel IV.8.</b> Hasil Uji Korelasi dengan Metode Pearson .....	101

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul :

**“Pengaruh pH Tanah dan Variasi Cacat Gores Lapis Lindung Terhadap Kebutuhan Arus Proteksi Sistem *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)* pada Baja AISI 1045.”**

Penyusunan laporan ini merupakan salah satu tugas untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan tugas akhir ini telah melibatkan banyak pihak yang sangat membantu. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua Orang tua dan seluruh keluarga besar yang senantiasa mendukung, membimbing, serta memberikan nasehat dan doa demi kebaikan penulis selama ini
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA dan Bapak Tubagus Noor Rohmannudin S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan arahan, bimbingan dan motivasi selama pelaksanaan Tugas Akhir.
3. Seluruh dosen Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah mendidik, memberi ilmu dan bimbingan selama perkuliahan.
4. Seluruh staf dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah banyak membantu.
5. Teman-teman MT 13 yang telah setia menemani, memberikan saran dan dukungan selama ini
6. Seluruh keluarga besar anggota HMMT FTI-ITS dan LDJ Ash-Habul Kahfi yang telah memberikan semangat, ilmu, dan pembelajaran selama belajar di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS



7. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari adanya keterbatasan di dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Besar harapan penulis akan saran dan kritik yang sifatnya membangun. Selanjutnya semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar II.1.</b> Hubungan Konsentrasi Ion $H^+$ dan Ion $OH^-$ ....	16
<b>Gambar II.2.</b> Rangkaian Sistem ICCP .....	23
<b>Gambar II.3.</b> (a) <i>blushing</i> , (b) <i>wingkling</i> , (c) <i>blistering</i> , (d) <i>delamination</i> , (e) <i>sags</i> , (f) <i>overspray</i> .....	41
<b>Gambar II.4.</b> Tiga Komponen Elektroda .....	42
<b>Gambar III.1.</b> Diagram Alir Penelitian .....	51
<b>Gambar III.2.</b> Baja AISI 1045 .....	53
<b>Gambar III.3.</b> Anoda Grafit.....	54
<b>Gambar III.4.</b> Epoxy Filler dan Hardener .....	55
<b>Gambar III.5.</b> Cat Zinc Chromate .....	56
<b>Gambar III.6.</b> <i>Filler</i> Perekat (Lem Tembak) .....	56
<b>Gambar III.7.</b> Larutan NaCl .....	57
<b>Gambar III.8.</b> Larutan HCl.....	57
<b>Gambar III.9.</b> Gergaji Mesin .....	58
<b>Gambar III.10.</b> <i>Container Box</i> Plastik.....	59
<b>Gambar III.11.</b> <i>Digital Multimeter</i> .....	60
<b>Gambar III.12.</b> <i>Avometer</i> .....	60
<b>Gambar III.13.</b> Kertas Indikator pH .....	61
<b>Gambar III.14.</b> <i>Rectifier</i> .....	61
<b>Gambar III.15.</b> <i>Reference Electrode</i> Cu/CuSO <sub>4</sub> .....	62
<b>Gambar III.16.</b> Mesin Bor .....	62
<b>Gambar III.17.</b> Spesimen Katoda .....	63
<b>Gambar III.18.</b> Ilustrasi Spesimen Katoda dengan Goresan Berbentuk Lingkaran Seluas: (a) 0 mm <sup>2</sup> ( <i>Full Coating</i> ), (b) 10 mm <sup>2</sup> , (c) 50 mm <sup>2</sup> , (d) 100 mm <sup>2</sup> , (e) 150 mm <sup>2</sup> , (f) 250 mm <sup>2</sup> , (g) 500 mm <sup>2</sup> , (h) Tanpa <i>Coating</i> .....	63
<b>Gambar III.19.</b> Ilustrasi Spesimen Katoda dengan Goresan Berbentuk Persegi Panjang Seluas: (a) 0 mm <sup>2</sup> ( <i>Full Coating</i> ), (b) 10 mm <sup>2</sup> , (c) 50 mm <sup>2</sup> , (d) 100 mm <sup>2</sup> , (e) 150	

mm <sup>2</sup> , (f) 250 mm <sup>2</sup> , (g) 500 mm <sup>2</sup> , (h)	
Tanpa <i>Coating</i> .....	64
<b>Gambar III.20.</b> Preparasi Anoda.....	66
<b>Gambar III.21.</b> Skema Rangkaian ICCP.....	67
<b>Gambar IV.1.</b> Grafik Arus Proteksi Baja Tanpa Goresan dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11.....	76
<b>Gambar IV.2.</b> Grafik Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 10 mm <sup>2</sup> Berbentuk Lingkaran dan Persegi Panjang dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11 .....	77
<b>Gambar IV.3.</b> Grafik Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 50 mm <sup>2</sup> Berbentuk Lingkaran dan Persegi Panjang dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11 .....	78
<b>Gambar IV.4.</b> Grafik Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 100 mm <sup>2</sup> Berbentuk Lingkaran dan Persegi Panjang dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11 .....	80
<b>Gambar IV.5.</b> Grafik Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 150 mm <sup>2</sup> Berbentuk Lingkaran dan Persegi Panjang dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11 .....	81
<b>Gambar IV.6.</b> Grafik Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 250 mm <sup>2</sup> Berbentuk Lingkaran dan Persegi Panjang dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11 .....	83
<b>Gambar IV.7.</b> Grafik Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 500 mm <sup>2</sup> Berbentuk Lingkaran dan Persegi Panjang dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11 .....	84
<b>Gambar IV.8.</b> Grafik Arus Proteksi Baja dengan Tanpa diberi <i>Coating</i> dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11 .....	86

<b>Gambar IV.9.</b> Grafik Pengaruh Arus Proteksi Terhadap Kondisi pH Tanah .....	87
<b>Gambar IV.10.</b> Grafik Arus Proteksi dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3 .....	88
<b>Gambar IV.11.</b> Grafik Arus Proteksi dalam Lingkungan Tanah dengan pH 7 .....	90
<b>Gambar IV.12.</b> Grafik Arus Proteksi dalam Lingkungan Tanah dengan pH 11 .....	92
<b>Gambar IV.13.</b> Grafik Pengaruh Arus Proteksi Terhadap Variasi Cacat Goresan.....	94
<b>Gambar IV.14.</b> Regresi Linier Kebutuhan Arus Proteksi Terhadap pH Tanah.....	98
<b>Gambar IV.15.</b> Regresi Linier Kebutuhan Arus Proteksi Terhadap Variasi Cacat Goresan.....	99
<b>Gambar IV.16.</b> Kondisi Spesimen dengan Bentuk Cacat Gores Persegi Panjang dalam Lingkungan Tanah pH 3 .....	103
<b>Gambar IV.17.</b> Kondisi Spesimen dengan Bentuk Cacat Gores Persegi Panjang dalam Lingkungan Tanah pH 7 .....	103
<b>Gambar IV.18.</b> Kondisi Spesimen dengan Bentuk Cacat Gores Persegi Panjang dalam Lingkungan Tanah pH 11 .....	104
<b>Gambar IV.19.</b> Kondisi Spesimen dengan Bentuk Cacat Gores Lingkaran dalam Lingkungan Tanah pH 3 .....	104
<b>Gambar IV.20.</b> Kondisi Spesimen dengan Bentuk Cacat Gores Lingkaran dalam Lingkungan Tanah pH 7 .....	105
<b>Gambar IV.21.</b> Kondisi Spesimen dengan Bentuk Cacat Gores Lingkaran dalam Lingkungan Tanah pH 11 .....	105

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*



## **BAB I PENDAHULUAN**

### **I.1. Latar Belakang**

Penggunaan struktur yang terbuat dari besi dan baja kini memiliki peranan yang sangat penting dalam dunia industri terutama pada penggunaan untuk saluran air, saluran gas, maupun tiang konstruksi. Struktur yang diaplikasikan pada kegiatan tersebut didesain sedemikian rupa agar dapat dipakai hingga 30-50 tahun. Namun pada kenyataannya timbul banyak permasalahan yang menyebabkan turunnya kualitas baja tersebut hingga terjadi kerusakan yang sangat parah. Hal ini dikarenakan korosi yang menjadi penyebab utama terhadap kegagalan material dimana dampak yang ditimbulkan akan berimbas pada lingkungan dan ekonomi. Oleh karena itu, berbagai upaya terus dilakukan guna untuk mempertahankan masa pemakaian yang lebih lama dan sesuai standar.

Selain itu, kondisi pada struktur yang dipendam didalam tanah dapat membuat masalah menjadi lebih kompleks. Pada umumnya, korosi pada tanah dapat dibatasi dengan pengukuran resistivitas tanah dan potensial struktur terhadap tanah. Namun setelah diteliti kembali masih terdapat banyak faktor yang dapat menyebabkan timbulnya korosi pada tanah, diantaranya ialah jenis tanah, kelembaban, pH tanah, dan cacat/goresan pada baja yang dapat menimbulkan korosi sumuran. Pelapisan (*Coating*) menjadi solusi untuk menjaga kestabilan dan penghalang terhadap lingkungan korosif untuk mengurangi laju degradasi. Lapisan tambahan diberikan untuk mengisolasi struktur agar terhindar dari lingkungan luar yang dapat menimbulkan korosi.

Usaha lain yang dapat dilakukan untuk mengendalikan korosi ialah dengan menggunakan proteksi katodik metode *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP). Sistem proteksi ini dapat melindungi baja yang relatif besar dengan memberikan sejumlah arus secara paksa yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Dengan keuntungan yang lebih fleksibel dalam



mengendalikan korosi pada struktur baja konstruksi yang melatarbelakangi penulis untuk melakukan penelitian ini. Pada penelitian ini akan dibahas karakteristik tanah pada tingkat keasaman yang berbeda-beda terhadap kebutuhan arus proteksi yang dibutuhkan oleh struktur baja yang dipendam didalam tanah. Selain itu, variabel lain yang diteliti ialah variasi cacat gores yang diberikan pada lapis lindung diharapkan memiliki pengaruh pada kebutuhan proteksi katodik.

### **I.2. Perumusan Masalah**

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh pH tanah terhadap arus proteksi sistem ICCP pada baja AISI 1045?
2. Bagaimana pengaruh variasi cacat goresan lapis lindung terhadap arus proteksi sistem ICCP pada baja AISI 1045?

### **I.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari pengaruh pH tanah terhadap arus proteksi sistem ICCP baja AISI 1045
2. Mempelajari pengaruh variasi cacat goresan lapis lindung terhadap arus proteksi sistem ICCP pada baja AISI 1045

### **I.4. Batasan Masalah**

Batasan masalah dan asumsi dalam penelitian ini adalah :

1. Material baja karbon AISI 1045 homogen
2. Diasumsikan spesimen berada pada kondisi atmosfer yang sama (konsentrasi  $O_2$  sama)
3. Perubahan nilai resistivitas dan kelembaban pada lingkungan tanah diabaikan
4. Lapis lindung yang digunakan menutup permukaan spesimen dengan sempurna, selain goresan yang sengaja dibuat



---

### **I.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari dilakukannya penelitian ini yaitu dapat menjadi referensi untuk menentukan arus proteksi yang harus diberikan agar sesuai dengan kondisi baja konstruksi dengan kondisi *coating* yang memiliki goresan. Selain itu dapat mengembangkan keilmuan mengenai proteksi katodik khususnya ICCP dalam aplikasinya di dunia industri.





*Halaman ini sengaja dikosongkan*



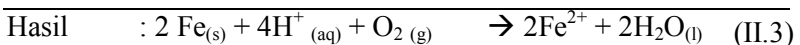
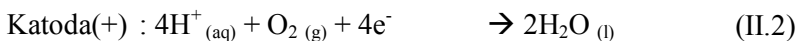
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

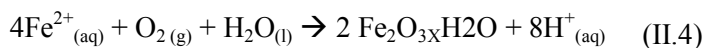
#### II.1. Teori Dasar Korosi

Korosi merupakan suatu degradasi atau kehilangan massa pada suatu material yang disebabkan oleh lingkungan. Hal ini merupakan suatu kecenderungan terhadap setiap komposisi material untuk kembali pada keadaan stabilnya. Namun, laju korosi dari sebagian proses ini cukup lambat untuk terjadi pada bahan bangunan. Hanya pada keadaan inert dan vakum saja dapat dianggap bebas dari serangan korosi. (Philips, 2007)

Proses korosi memiliki kecenderungan untuk mengikuti hukum-hukum dasar termodinamika. Dikarenakan korosi merupakan suatu rangkaian dari proses elektrokimia. Maka dari itu, dalam suatu kondisi tertentu korosi dapat diukur, dikendalikan, dan diprediksi.



Dari data potensial elektroda dapat dihitung bahwa *emf* standar untuk proses ini, yaitu  $E_{0\text{ sel}} = +1,67\text{V}$ ; reaksi ini terjadi pada lingkungan asam dimana ion  $\text{H}^{+}$  sebagian dapat diperoleh dari reaksi karbon dioksida atmosfer dengan air membentuk  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Ion  $\text{Fe}^{2+}$  yang terbentuk, dianoda kemudian teroksidasi lebih lanjut oleh oksigen membentuk besi (III) oksida :





Hidrat besi (III) oksida inilah yang dikenal sebagai karat besi. Sirkuit listrik dipacu oleh migrasi elektron dan ion, itulah sebabnya korosi cepat terjadi dalam air garam.

Jika proses korosi terjadi dalam lingkungan basa, maka reaksi katodik yang terjadi, yaitu :



Oksida lanjut ion  $\text{Fe}^{2+}$  tidak berlangsung karena lambatnya gerak ion ini sehingga sulit berhubungan dengan oksigen udara luar, tambahan pula ion ini segera ditangkap oleh garam kompleks heksasianoferrat (II) membentuk senyawa kompleks stabil biru. Lingkungan basa tersedia karena kompleks kalsium heksasianoferrat (III).

Korosi besi relatif cepat terjadi dan berlangsung terus, sebab lapisan senyawa besi (III) oksida yang terjadi bersifat porous sehingga mudah ditembus oleh udara maupun air. Tetapi meskipun aluminium mempunyai potensial reduksi jauh lebih negatif daripada besi, namun proses korosi lanjut menjadi terhambat karena hasil oksida  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , yang melapisinya tidak bersifat porous sehingga melindungi logam yang dilapisi dari kontak dengan udara luar.

Selain itu korosi akan terjadi bila terdapat empat komponen, yaitu:

1. Anoda :

Anoda merupakan elektroda yang mengalami reaksi oksidasi



2. Katoda :  
Merupakan elektroda yang mengalami reaksi proteksi. Reaksi yang umumnya terjadi di katoda adalah
3. Larutan elektrolit sebagai media penghantar listrik
4. Adanya kontak metalik antar anoda dan katoda sehingga elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda.

## II.2. Korosi Baja Karbon di Dalam Tanah

Baja karbon murni akan mengalami korosi di hampir semua lingkungan atmosfer bila kelembaban di dalam tanah relatif mencapai lebih dari 60%. Reaksi antara logam dengan lingkungannya yang terjadi secara elektrokimia dapat menyebabkan penurunan mutu dan kualitas dari logam tersebut. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor lingkungannya diantaranya lain pemasukan  $O_2$ , pH tanah, dan hadirnya ion-ion agresif seperti klorida (Thretheway, 1991).

Korosi yang terjadi didalam tanah termasuk kedalam proses elektrokimia. Tetapi dalam kondisi tertentu mekanisme yang terjadi dapat berubah dari atmosferik menjadi *completely immersed*/terendam dalam tanah seluruhnya. Jadi kondisi tanah yang berlaku akan bergantung pada kepadatan tanah dan kelembabannya. Adapun kelembaban dalam tanah sendiri dapat diakibatkan oleh adanya kapilaritas dan poros pada tanah yang telah tercampur dengan cuaca (angin, air) maupun pembusukan organik.

Laju korosi logam yang ditanam dalam tanah yang kering sebenarnya dapat diabaikan karena tingkat kelembaban tanah masih berada pada kondisi yang aman. Tetapi pada kondisi tertentu tidak menutup kemungkinan logam dapat terkena korosi



walaupun tanah berada tingkat kelembaban yang kecil sekalipun. Hal ini dapat terjadi akibat kandungan butir-butir tanah yang memiliki tingkat keasaman yang tinggi. Sehingga konduktivitas tanah tidak berpacu pada kelembaban saja, namun dapat diakibatkan oleh pH tanah, konsentrasi ion klorida, aktifitas biologi, dan kandungan mineral di dalam tanah tersebut.

### II.3. Karakteristik Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 merupakan baja karbon yang mempunyai kadar karbon sekitar 0,43-0,5% dan termasuk pada golongan baja karbon menengah (Glyn,et.al.2001). Baja ini memiliki komposisi kimia sebagai berikut.

**Tabel II.1.** Komposisi Kimia Baja AISI 1045

(<http://www.strindustries.com>, 2006)

Kode	%C	%Si	%Mn	%Mo	%P	%S
AISI 1045	0,4-0,45	0,1-0,3	0,6-0,9	0,025	Max. 0,04	Max. 0,05

Baja AISI 1045 disebut sebagai baja karbon karena sesuai dengan pengkodean internasional, yaitu seri 10xx berdasarkan nomenklatur yang dikeluarkan oleh AISI dan SAE (*Society of Automotive Engineers*). Pada angka 10 pertama merupakan kode yang menunjukkan *plain carbon* kemudian kode xx setelah angka 10 menunjukkan komposisi karbon(Glyn,et.al.2001). Jadi baja AISI 1045 berarti baja karbon atau *plain carbon* yang mempunyai komposisi karbon sebesar 0,45%. Pada aplikasinya baja ini memiliki ketahanan aus yang baik sehingga sangat cocok untuk digunakan pada komponen automotif seperti komponen roda gigi, poros, dan bantalan. Selain itu baja ini juga dapat digunakan untuk material konstruksi yang merujuk pada kegiatan membangun segala prasarana yang diperlukan manusia untuk mempertahankan sekaligus mengembangkan peradabannya.



Dengan pemilihan bahan material yang sesuai adalah tahapan penting dan menjadi faktor yang sangat mempengaruhi. Kriteria kekuatan dan kekakuan yang dimiliki baja AISI 1045 umumnya dijadikan pertimbangan utama para insinyur untuk menjadikan baja tersebut menjadi material konstruksi. Jadi tidak mengherankan jika disetiap proyek-proyek konstruksi bangunan (jembatan atau gedung) baja selalu ditemukan, meskipun tentu saja volumenya tidak harus mendominasi.

Tinjauan dari segi kekuatan, kekakuan, dan daktilitas sangat cocok dipakai mengevaluasi struktur yang diberi pembebanan. Tetapi perlu diingat bahwa selain kondisi tadi akan terdapat pengaruh lingkungan yang mempengaruhi kelangsungan hidup struktur bangunannya. Pada suatu kondisi tertentu, suatu bangunan dapat mengalami kerusakan meskipun tanpa diberikan beban sekalipun (belum berfungsi). Jadi ketahanan bahan material konstruksi terhadap lingkungan sekitarnya adalah penting untuk diketahui agar dapat diantisipasi dengan baik.

#### **II.4. Anoda**

Anoda merupakan suatu elektroda yang digunakan pada sel elektrokimia. Apabila terdapat arus listrik yang mengalir maka akan menimbulkan polarisasi didalamnya. Arus listrik mengalir berlawanan dengan arah pergerakan elektron. Pada proses elektrokimia, baik sel galvanik maupun elektrolisis, anoda mengalami oksidasi.

Perlu diperhatikan bahwa tidak selalu anion (ion yang bermuatan negatif) bergerak menuju anoda, ataupun tidak selalu kation (ion bermuatan positif) akan bergerak menjauhi anoda. Pergerakan anion maupun kation menuju atau menjauh dari anoda tergantung dari jenis sel elektrokimianya.



Pada sel galvanik atau pembangkit listrik (baterai), anoda adalah kutub negatif. Elektroda akan melepaskan elektron menuju ke sirkuit dan karenanya arus listrik mengalir ke dalam elektroda ini dan menjadikannya anoda dan berkutub negatif. Dalam sel galvanik, reaksi oksidasi terjadi secara spontan. Karena terus menerus melepaskan elektron anoda cenderung menjadi bermuatan positif dan menarik anion dari larutan (elektrolit) serta menjauhkan kation. Sedangkan pada sel elektrolisis, anoda adalah elektroda positif. Arus listrik dari kutub positif sumber tegangan listrik luar (GGL) dialirkan ke elektroda sehingga memaksa elektroda teroksidasi dan melepaskan elektron.

Pada metode ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*), anoda yang digunakan memiliki potensial elektroda yang lebih positif (*less active metal*). Arus elektron mengalir dari struktur baja ke anoda inert yang digunakan. Namun arus searah (DC) dari *transformer rectifier* memaksa arus elektron tetap menuju ke struktur baja. Karena arus terpasang memiliki tegangan dorong yang besar, maka metode ini dapat digunakan untuk luasan proteksi yang besar dengan anoda tunggal meski ditempatkan jauh dari struktur.

#### II.4.1. Jenis-Jenis Anoda ICCP

Penggunaan anoda pada metode SACP (*Sacrificial Anode Cathodic Protection*) dan ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*) memiliki perbedaan yang terletak pada jenis materialnya. Dengan menggunakan *high silicon cast iron*, grafit, timah, platinum, dan titanium yang tergolong pada material non aktif. Anoda jenis ini dapat berfungsi sebagai sumber elektron dan tidak perlu dikorbankan (terserang korosi).



Anoda yang digunakan pada sistem ICCP harus memakai elektroda dengan nilai potensial yang tinggi agar dapat melindungi area yang luas dengan anoda yang kecil. Untuk mendapatkan hasil perlindungan yang baik serta nilai ekonomis yang tergolong murah. Anoda jenis grafit sering digunakan pada lingkungan tanah. Dan masih banyak lagi jenis anoda untuk ICCP yang ada dipasaran. Berikut ini jenis-jenis anoda yang dipakai untuk penggunaan sistem ICCP.

**Tabel II.2.** Jenis-Jenis Anoda Sistem ICCP (Denny, 2005)

Material Anoda	Aplikasi Khusus	Typical Loss (Lb/A.y)
Scrap Steel	Tanah, Air tawar/laut	20
Alumunium	Tanah, Air tawar/laut	10-12
Grafit	Tanah, Air tawar	0,25-5
High Silicon Iron Si-Cr Iron	Tanah, Air tawar/laut	0,25-5
Timah	Air Laut	0,1-0,25
Platinum Titanium	Air Laut	Kosong

#### II.4.2. Karakteristik Anoda Grafit

Penggunaan anoda pada sistem ICCP di dalam tanah biasanya menggunakan anoda inert jenis karbon grafit berbentuk silinder. Anoda jenis padatan karbon ini sering digunakan karena *consumption rate* yang tergolong kecil. Berikut ini data laju konsumsi di beberapa kondisi dan karakteristik dari grafit.



**Tabel II.3.** Laju Konsumsi Anoda Grafit (Shreir,2000)

<i>Environment</i>	Wastage Rate ( $\text{kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$ )	Current Density ( $\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$ )	Reference
Backfill	0,9	10,8	80
Hot Water	0,9	-	108
Sea Water	0,045	4,5-11,5	111
Sea Water	Little	10,8	108
Fresh Water	0,45	3,5	108
Fresh Water	0,45	2,7	111
Mud	0,91-1,36	7,1	173

**Tabel II.4.** Karakteristik Anoda Grafit (Shreir,2000)

Properties	Unit	Plain Graphite	Impregnated Graphite
Bulk Density	$\text{gr/cm}^3$	1,55	1,65
Porosity	$\text{H}_2\text{O}\%$	30	19
Flexural Strength	$\text{N/mm}^2$	15	20
Compressive Strength		19	44
Electrical Resistivity	$\Omega\mu\text{m}$	7,5	14
		12	20
Thermal Conductivity	$\text{W/mK}$	198	38
		116	35
Mean linier thermal coefficient of expansion	$1/\text{k}$		
		0,9	1,9
		2,7	3,2
Ash	%	<0,5	<0,5



## II.5. Elektroda Acuan

*Reference electrode* atau elektroda acuan merupakan suatu elektroda yang memiliki tingkat kestabilan yang tinggi untuk mengukur nilai potensial. Stabilitas yang tinggi dari elektroda acuan ini telah mengacu pada sistem redoks (reduksi-oksidasi) (Allen.2000). Kemudian elektroda referensi yang baik mempunyai tingkat perubahan potensial yang tidak dipengaruhi oleh temperatur lingkungannya. Apabila lingkungan sekitar pengukuran potensial berada pada temperatur yang tinggi elektroda acuan dikatakan baik untuk digunakan apabila tidak terdapat perubahan nilai yang signifikan. Alat ini dapat digunakan dengan berbagai cara. Salah satu cara yang termudah untuk menggunakan alat ini adalah dengan pengukuran potensial setengah reaksi pada sel elektrokimia. Jika voltmeter dihubungkan dengan elektroda acuan dan baja, maka potensial yang terbaca sesungguhnya merupakan gabungan dari dua jenis potensial. Masing-masing potensial itu disebut potensial Half Cell. (Gurrappa, 2005).

### II.5.1. Jenis-Jenis Elektroda Acuan

Elektroda acuan memiliki macam bentuk dan fungsi yang berbeda-beda tergantung pada aplikasi pengukuran yang diperlukan. Sebagai contoh, untuk mengukur potensial sistem proteksi katodik pada lingkungan tanah dapat menggunakan elektroda acuan  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ , pada lingkungan air dapat menggunakan elektroda  $\text{Ag}/\text{AgCl}_2$ , sedangkan pada skala laboratorium lebih banyak menggunakan elektroda kalomel/merkuri(I)klorida,  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ , atau dapat disebut SCE (*Saturated Calomel Electrode*). Berikut ini jenis-jenis dari elektroda pembanding.

**Tabel II.5.** Elektroda Pembanding (Allen,2000)

<b>Jenis Elektroda Acuan</b>	<b>Potensial Terhadap Potensial Standar Hidrogen, V</b>
<i>Standard Hydrogen Electrode (SHE)</i>	0,000
<i>Normal Hydrogen Electrode (NHE)</i>	0,000
<i>Reversible Hydrogen Electrode (RHE)</i>	0,000
<i>Saturated Calomel Electrode (SCE)</i>	+0,241
<i>Copper-Copper (II) Sulfate Electrode (CSE)</i>	+0,314
<i>Silver Chloride Electrode</i>	+0,197
<i>Mercury-Mercurous Sulfate Electrode</i>	+0,64

## II.6. Karakteristik Tanah

Karakteristik tanah ditinjau secara kimia maupun fisika dapat mempengaruhi tingkat korosi. Tanah yang kasar dan berpasir cenderung untuk mudah dilewati oleh air dan udara. Sedangkan pada tanah lempung menunjukkan tingkat aerasi dan drainase yang buruk. Tanah-tanah tersebut tergolong pada tanah yang sering dilewati oleh *pipelines* transmisi minyak dan gas, *underground storage tank*, dan masih banyak struktur yang lainnya. Oleh karena itu, pada pemasangan aplikasi struktur tersebut harus mengetahui faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi tingkat korosifitasnya.

### II.6.1. Kandungan Air dan Kelembaban

Banyaknya kandungan air dalam tanah dapat menentukan kemampuan tanah sebagai media elektrolit dalam reaksi korosi. Dengan jumlah yang banyak, kandungan air yang berada di tanah dapat mengalirkan elektron sehingga peristiwa terjadinya korosi



sangat rentan terjadi. Mekanisme pergerakan air dalam tanah dapat disebabkan oleh gaya gravitasi, kapilaritas, tekanan osmosis, dan interaksi elektrostatis antar partikel. Pergerakan air yang mengikuti arah gravitasi mengalir dari daerah permukaan menuju ke dasar yang paling bawah. Sifat air pada tanah juga dipengaruhi oleh daya kapilaritasnya. Yaitu berpindah pada daerah tanah yang basah menuju ke tanah yang kering. Air dapat bergerak karena adanya porositas dalam tanah. Dibantu oleh tekstur dan struktur tanah yang menjadi kekuatan sehingga dapat menahan dan menampung air.

### **II.6.2. Derajat Aerasi dan Permeabilitas Tanah**

Salah satu karakteristik tanah yang ditinjau secara fisik dapat berupa derajat aerasi dan tingkat permeabilitasnya. Tanah yang kasar (pasir dan gravel) memiliki sifat drainase yang baik sehingga baja yang terkorosi pada lingkungan tanah ini sama seperti laju korosi baja yang terekspos dengan lingkungan atmosfer. Korosi yang disebabkan oleh perbedaan derajat aerasi dapat dihasilkan dari kondisi tanah yang berbeda. Dengan tingkat permeabilitas oksigen yang berbeda tersebut dapat mengakibatkan terjadinya aliran arus karena efek galvanik. Derajat aerasi juga dapat disebabkan oleh kedalaman tanah. Dengan semakin dalamnya tanah maka akan menurunkan derajat aerasi atau kandungan oksigennya.

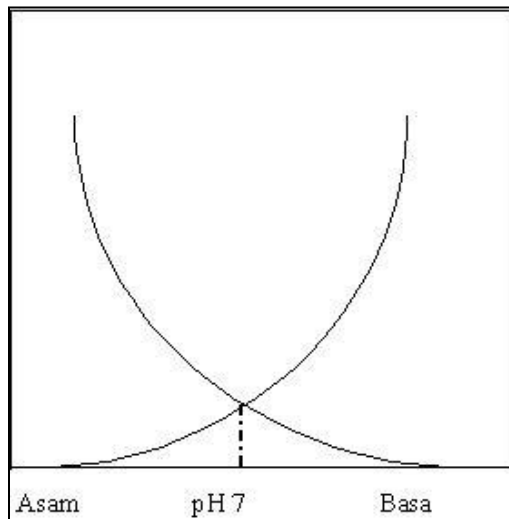
### **II.6.3. pH Tanah**

Reaksi tanah menunjukkan sifat keasaman dan kebasaan tanah yang dinyatakan dengan nilai pH. (Kartasapoetra dan Sutedjo, 2002) pH tanah adalah suatu ukuran aktivitas ion hydrogen dalam larutan air tanah dan dipakai sebagai ukuran



keasaman tanah. Sebetulnya keasaman dan kebasaan tanah merupakan pencerminan kadar, baik ion  $H^+$  maupun ion  $OH^-$ .

Kadar ion  $H^+$  biasanya dinyatakan dalam besaran pH, yaitu log negative  $H^+$ , yang kadar  $H^+$  dinyatakan dalam satuan g per liter. Didalam tanah selain ion  $H^+$  ditemukan pula ion  $OH^-$ , yang jumlahnya berbanding terbalik dengan banyaknya  $H^+$ . Pada tanah – tanah yang asam, jumlah ion  $H^+$  lebih tinggi dari pada jumlah ion  $OH^-$ . Sedangkan pada tanah alkalis, kandungan  $OH^-$  lebih banyak dibandingkan ion  $H^+$ . Bila kandungan  $OH^-$  sama dengan  $H^+$  maka tanah bereaksi netral, yaitu mempunyai pH = 7. Menurut Hardjowigeno (1995), hubungan konsentrasi ion  $H^+$  dan ion  $OH^-$  dapat dilihat dari grafik dibawah ini :



**Gambar II.1.** Hubungan Konsentrasi Ion  $H^+$  dan Ion  $OH^-$

Nilai pH berkisar dari 0–14. Dengan pH 7 disebut netral sedang pH kurang dari 7 disebut asam, dan pH lebih dari 7 disebut alkalis. Penentuan nilai pH dapat menggunakan persamaan berikut :



$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} = -\log [H^+] \quad (\text{II.6})$$

Besaran nilai pH tersebut didasarkan atas besarnya konstanta disosiasi air murni, yaitu:



$$\text{H}^+ + \text{OH}^- = 1.10^{-14} = \text{konstan}$$

Penentuan nilai pH dapat dikerjakan secara elektrometrik dan kalorimetrik. Baik dilaboratorium maupun dilapangan. Elektrometrik reaksi tanah ditentukan antara lain dengan pH meter, sedangkan kalorimetrik dapat dikerjakan dengan kertas pH dan larutan pH universal. Biasanya nilai pH yang lebih besar dari 7 menunjukkan adanya karbonat – karbonat Ca atau Mg yang bebas, tanah yang mempunyai lebih tinggi dari 8,5 hampir selalu mengandung sejumlah Na yang dapat ditukarkan.

Menurut Notohadiprawiro (1996), tanah dapat dipilahkan berdasarkan reaksi tanah atau pH sebagai berikut:

**Tabel II.6.** Reaksi Tanah Terhadap Tingkat Keasamannya

Reaksi Tanah	pH
Luar biasa asam	<4
Sangat Asam	4,0 – 5,0
Asam	5,0 – 6,0
Agak Asam	6,0 – 7,0
Agak basa	7,0 – 8,0
Basa	8,0 – 9,0
Sangat basa	9,0 – 10
Luar biasa Asam	> 10



Walaupun demikian pH tanah umumnya berkisar dari 3,0 – 9,0. Di Indonesia umumnya tanah bereaksi asam dengan pH 6,0 – 6,5 sering dikatakan cukup netral, meskipun masih agak asam. Tanah permukaan dikawasan kering dicirikan oleh pH 7,0 sampai 9,0. Disini sebagian basa ada yang membentuk garam yang mengendap berupa  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{NaCl}$ . Garam – garam ini menjadi cadangan kation basa yang dapat mempertahankan kejenuhan basa tinggi pada kompleks serapan. Untuk kondisi keharaan pada berbagai kisaran pH sebagai berikut :

1. Sangat Tinggi (diatas 8,5)
  - Tanah alkali
  - Ca dan Mg, kemungkinan tidak tersedia
  - Fosfat dalam bentuk Ca-P, Mg-P
  - Bila kadar Na tinggi, maka P menjadi Na-P yang mudah larut
  - Aktivitas bakteri rendah
  - Proses nitrifikasi menurun
  - Ketersediaan hara mikro menurun, kecuali Mo
2. Tinggi (7,0-8,5)
  - Penurunan ketersediaan P dan B
  - Adanya Co, Cu, Fe, Mn, dan Zn
  - Kadar Ca dan Mg tinggi
  - Tanah alkali
3. Sedang (5,5-7,0)
  - Sifat netral
  - Kisaran pH yang baik untuk sebagian besar tanaman
  - Kadar hara (makro dan mikro) optimum
  - Aktivitas mikroorganisme optimum
  - Sifat kimia tanah optimum
4. Rendah (<5,5)
  - Tanah bersifat asam
  - Ion fosfat bersenyawa dengan Fe dan Al membentuk senyawa yang tidak cepat tersedia bagi tanaman
  - Semua hara makro (kecuali Mo) menjadi lebih tersedia dengan peningkatan kadar asam



- Ion Al dilepaskan dari mineral lempung pada nilai pH dibawah 5,5
- Aktivitas bakteri menurun
- Proses nitrifikasi terhambat

Sifat tanah ditentukan oleh pH tanah yang akan menentukan keadaan dari korosifitas tanah. pH tanah yang asam akan mengakibatkan korosifitas tanah meningkat sedangkan tanah yang bersifat basa mengakibatkan logam menghasilkan *scale*. Peningkatan pH tanah dipengaruhi beberapa faktor sebagai berikut :

1. Material Penyusun

- Material penyusun bersifat asam akan berkembang menjadi tanah yang bersifat asam
- Material penyusun yang bersifat basa akan berkembang menjadi tanah yang bersifat basa/alkalin

2. Iklim

- Tanah yang berkembang didaerah iklim lembab/basah akan bersifat asam
- Curah hujan dan suhu sangat berpengaruh aktif terhadap asam-basanya tanah

3. Bahan Organik

- Bahan organik menghasilkan asam-asam organik hasil proses humifikasi
- Asam organik memiliki pH nisbi yang rendah
- Asam anorganik merupakan hasil dekomposisi

4. Pengaruh manusia

- Pemupukan dengan pupuk fisiologis yang bersifat asam akan menyebabkan tanah yang bersifat asam
- Pengapuran akan menyebabkan pH akan naik

5. Jenis lempung

- Lempung silikat merupakan sumber muatan negatif yang bersifat tetap





#### II.6.4. Resistivitas Tanah

Resistifitas tanah merupakan faktor penting dalam mengukur tingkat korosifitas tanah. Nilai dari resistifitas tanah dapat dipengaruhi oleh kandungan air, pH tanah, dan karakteristik fisik dari tanah itu sendiri. Dari satu tanah dengan tanah yang lainnya dapat memiliki nilai resistivitas yang berbeda-beda pula. Berikut ini jenis-jenis tanah beserta nilai resistivitasnya.

**Tabel II.7.** Tabel Nilai Resistivitas Tanah (Loke, 2000)

Material	Resistivity ( $\Omega\text{m}$ )	Conductivity (Siemen/m)
<b>Igneous and Metamorphic Rocks</b>		
Granite	$5 \times 10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 2 \times 10^{-4}$
Basalt	$10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 10^{-3}$
Slate	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^6$	$2,5 \times 10^{-8} - 1,7 \times 10^{-3}$
Marble	$10^2 - 2,5 \times 10^8$	$4 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Quartzite	$10^2 - 2 \times 10^8$	$5 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
<b>Sedimentary Rocks</b>		
Sandstone	$8 - 4 \times 10^3$	$2,5 \times 10^{-4} - 0,125$
Shale	$20 - 2 \times 10^3$	$5 \times 10^{-4} - 0,05$
Limestone	$50 - 4 \times 10^2$	$2,5 \times 10^{-3} - 0,02$
<b>Soils and Water</b>		
Clay	$1 - 100$	$0,01 - 1$
Alluvium	$10 - 800$	$1,25 \times 10^{-3} - 0,1$
Groundwater (fresh)	$10 - 100$	$0,01 - 0,1$
Sea water	$0,2$	$5$

Pengukuran nilai resistivitas tanah dilakukan dengan menggunakan empat *pin point* yang ditanam dalam tanah. Pin yang ditanam dalam tanah diposisikan sejajar satu garis lurus. Pada dua pin terluar yaitu pin  $C_1$  dan  $C_2$  dipasang secara seri untuk menentukan nilai arusnya. Dua pin yang ditanam ditengah yaitu  $P_1$  dan  $P_2$  yang berfungsi untuk mengukur potensialnya.



Nilai dari resistifitas tanah tersebut kemudian digolongkan sesuai tingkat korosifitasnya.

**Tabel II.8.** Tingkat Korosifitas Terhadap Nilai Resistivitas Tanah (Loke,2000)

Resistivitas Tanah ( $\Omega.m$ )	Tingkat Korosifitas
>200	Tidak Korosif
100 - 200	Korosif Rendah
50 – 100	Korosif Rendah
30 – 50	Korosif
10 – 30	Sangat Korosif

## II.7. Pengendalian Korosi

Proses terjadinya korosi tidak dapat dicegah, hal ini disebabkan karena reaksi korosi memiliki nilai entalpi yang negatif. Menurut hukum termodinamika, reaksi semacam ini adalah reaksi yang berlangsung secara spontan. Oleh karena itu, proses terjadinya korosi pada logam oleh lingkungannya adalah proses yang spontan dan tidak dapat dicegah terjadinya. Walaupun begitu proses korosi tetap dapat dikendalikan sehingga kecepatan reaksi yang terjadi dapat diperkirakan dan ditanggulangi secepatnya. Diantara proses pengendalian korosi yang dapat dilakukan ialah :

- Desain
- Pemilihan Material
- Perlakuan Lingkungan
- Coating*/Pelapisan
- Proteksi Katodik

### II.7.1. Proteksi Katodik

Proteksi katodik pertama kali ditemukan oleh Sir Humphry Davy pada tahun 1824 untuk melindungi baut pada



kapal. Dalam kasus pertama dari proteksi katodik ini, menggunakan logam korban yang kini disebut anoda tumbal. Logam korban yang digunakan untuk proteksi katodik kali ini harus diganti secara berkala. Kemudian sejak awal abad 20-an, penelitian dilanjutkan untuk melindungi perpipaan, instalasi kapal laut, dan baja-baja diindustri. (Berkeley, 1998)

Proteksi katodik sendiri digunakan untuk mengendalikan korosi pada permukaan logam. Proses yang dilakukan biasanya berupa reaksi elektrokimia dimana logam yang dilindungi akan bertindak sebagai katoda. Arus mengalir berasal dari anoda melalui sel elektrolit menuju ke katoda. Sehingga kemampuan proteksi terhadap katoda dapat dicapai dengan mengalirkan arus listrik tersebut. (Fontana, 1996)

Pada aplikasi dilapangan, struktur yang dilindungi akan diusahakan menjadi lebih terproteksi dibandingkan dengan bahan lain yang dikorbankan untuk terkorosi. Proses ini dilakukan dengan cara mengalirkan arus searah dari sumber lain melalui elektrolit ke permukaan pipa dan menghindari adanya arus yang meninggalkan pipa. Jika jumlah arus yang dialirkan diatur dengan baik, maka akan mencegah mengalirnya arus korosi yang keluar dari daerah anoda dipermukaan pipa dan arus akan mengalir dalam pipa pada daerah tersebut. Sehingga permukaan pipa tersebut akan menjadi bersifat katodik, dengan demikian maka proteksi menjadi lengkap.

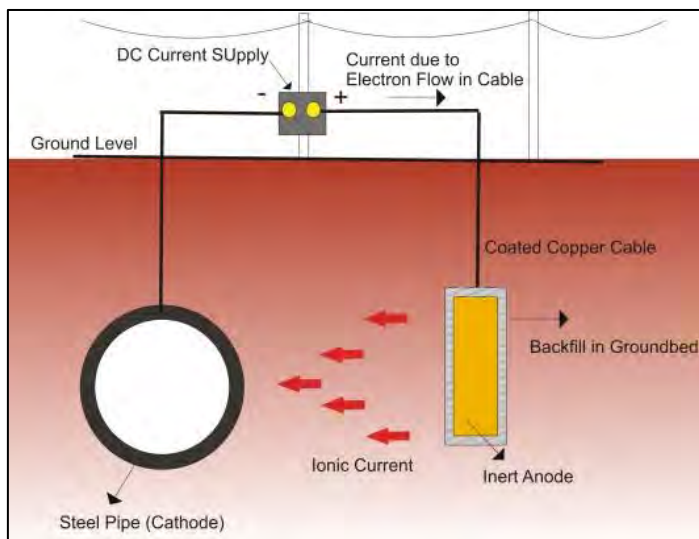
## **II.7.2. Proteksi Katodik Arus Paksa**

Metode *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) menggunakan suplai arus listrik dari sumber tegangan eksternal. Sistem proteksi katodik ini berbeda dengan metode anoda korban, karena anoda yang digunakan memiliki nilai potensial yang tinggi dan berada pada kondisi yang inert. Sehingga anoda dapat



digunakan hingga jangka waktu yang lama dengan rasio pengurangan yang sangat kecil. Sistem ICCP ini dapat digunakan untuk melindungi struktur yang besar, hal ini disebabkan karena penggunaan beberapa anoda dapat memproteksi struktur baja hingga puluhan kilometer. Selain itu, penggunaannya juga dapat dilakukan dengan penambahan *coating*/lapis lindung sehingga membuat masa pakai dari baja ini semakin lama.

### II.7.2.1. Mekanisme Proteksi Katodik Arus Paksa



**Gambar II.2.** Rangkaian Sistem ICCP (Pierre, 2000)

Komponen yang digunakan dalam sistem ICCP ini adalah :

1. Sumber arus AC
2. *Rectifier*, penyearah arus dari AC menjadi DC
3. Katoda, baja yang akan diproteksi
4. Anoda
5. Elektrolit, dapat berupa media air laut maupun tanah



6. Kabel tembaga
7. Elektroda acuan, untuk menghitung potensial sistem

Mekanisme dari proteksi katodik arus paksa diawali dengan instalasi rangkaian yaitu menghubungkan baja yang akan diproteksi menuju ke kutub negatif (-) dan menghubungkan anoda menuju ke kutub positif (+) *rectifier*. Sumber arus listrik berasal dari arus AC yang dilengkapi dengan penyearah arus (*rectifier*) sehingga berubah menjadi arus DC. Arus mengalir dari *rectifier* menuju ke anoda, dengan dialiri arus secara terus menerus maka elektron yang berada pada anoda memiliki cukup energi untuk berpindah melalui elektrolit ke permukaan struktur. Kemudian arus mengalir ke sepanjang struktur dan kembali lagi menuju ke *rectifier* melalui konduktor elektris. Karena struktur menerima arus yang disalurkan melalui elektrolit, maka struktur menjadi terproteksi. Keluaran (*output*) arus *rectifier* diatur untuk mengalirkan arus yang cukup sehingga dapat mencegah arus korosi yang akan meninggalkan daerah anoda pada struktur yang dilindungi. Dengan keluaran arus dari anoda ini maka anoda tersebut terkonsumsi. Untuk itu maka sebaiknya menggunakan bahan yang laju konsumsinya lebih rendah dari magnesium, zinc dan alumunium yang biasa dipakai untuk system tersebut, umumnya digunakan paduan kombinasi bahan yang khusus. Untuk struktur bangunan yang besar, metode proteksi katoda dengan menggunakan sistem *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) sangat cocok untuk digunakan. Dengan menggunakan anoda yang dihubungkan dengan sumber arus pada sistem yang berasal dari luar, yaitu dengan sumber arus searah (DC) ataupun sumber arus bolak-balik (AC) yang dihubungkan dengan penyearah arus/*rectifier*. Instalasi sistem dilakukan



dengan menghubungkan kutub negatif ke struktur dan kutub positif menuju ke anoda.

### II.7.2.2. Perhitungan Desain ICCP

Untuk mendesain sistem ICCP maka diperlukan analisa dari segi teknis maupun ekonomis. Hal ini berfungsi sebagai nilai efektifitas pada saat memberikan proteksi katodik pada baja. Menurut rizky (2010), perhitungan desain ICCP dapat menggunakan tahapan sebagai berikut :

1. Kondisi *Coating*/Lapis Lindung

Data dari lapis lindung sangat diperlukan untuk analisa awal desain ICCP. Hal ini dapat dianalisa melalui material lapis lindung yang digunakan dan ketebalan lapisan.

2. Luas Permukaan Baja yang diproteksi

$$A = \pi \times OD \times L \quad (II.8)$$

Dimana :

A = Luas permukaan baja yang diproteksi (m<sup>2</sup>)

OD = Diameter (m)

L = Panjang baja (m)

3. Kebutuhan Arus Proteksi

$$I_r = A \times f_c \times I_d \times NC \quad (II.9)$$

Dimana :

I<sub>r</sub> = Kebutuhan arus proteksi (A)

A = Luas permukaan pipa (m<sup>2</sup>)

f<sub>c</sub> = Faktor breakdown *coating*

I<sub>d</sub> = Densitas arus proteksi (A/m<sup>2</sup>)

NC = *Nominal current*



## 4. Kebutuhan Jumlah Anoda

$$N = \frac{I_r}{I_o} \quad (\text{II.10})$$

Dimana :

$N$  = Kebutuhan jumlah anoda

$I_r$  = Kebutuhan arus proteksi (A)

$I_o$  = Keluaran arus tiap anoda (A)

## 5. Tahanan Anoda

$$R_H = \frac{\rho}{2\pi L} \times \left[ \ln \frac{4L}{r} - 1 \right] \quad (\text{II.11})$$

Dimana :

$R_H$  = Tahanan anoda (ohm)

$\rho$  = Resistivitas (ohm.m)

$L$  = Panjang anoda (m)

$r$  = Jari-jari anoda (m)

6. Tahanan Kabel DC dari Anoda Menuju *Junction Box*

$$R_{c1} = L_{c1} \times R_{e1} \quad (\text{II.12})$$

Dimana :

$R_{c1}$  = Tahanan kabel DC dari anoda menuju *junction box* (ohm)

$L_{c1}$  = Panjang kabel DC dari anoda menuju ke *junction box* (ohm)

$R_{e1}$  = Tahanan spesifik kabel (ohm/m)

7. Tahanan Kabel DC dari *Junction Box* Menuju Kutub Positif *Rectifier*

$$R_{c2} = L_{c2} \times R_{e2} \quad (\text{II.13})$$

Dimana :



$R_{c2}$  = Tahanan kabel DC dari *junction box* menuju *rectifier* (ohm)

$L_{c2}$  = Panjang kabel DC dari *junction box* menuju *rectifier* (ohm)

$R_{e2}$  = Tahanan spesifik kabel (ohm/m)

8. Tahanan Total Sirkuit DC

$$R_t = R_H + R_{c1} + R_{c2} \quad (\text{II.14})$$

Dimana :

$R_t$  = Tahanan total sirkuit DC (ohm)

$R_H$  = Tahanan anoda (ohm)

$R_{c1}$  = Tahanan kabel DC dari anoda menuju *junction box* (ohm)

$R_{c2}$  = Tahanan kabel DC dari *junction box* menuju *rectifier* (ohm)

9. Tegangan DC *Rectifier*

$$E_t = I_t \times R_t \quad (\text{II.15})$$

Dimana :

$E_t$  = Kebutuhan tegangan DC *rectifier* (V)

$I_t$  = Total arus proteksi yang dikirim oleh *rectifier* (A)

$R_t$  = Tahanan total sirkuit DC (ohm)

10. Total Tegangan DC *Rectifier*

$$E_{DC} = E_t + (SF \times E_t) \quad (\text{II.16})$$

Dimana :

$E_{DC}$  = Total tegangan DC *rectifier* (V)

$E_t$  = Kebutuhan tegangan DC *rectifier* (V)

SF = *Safety factor*





### 11. Kebutuhan Daya AC yang Diperlukan *Rectifier*

$$I_{AC} = \frac{E_{DC} \times I_{DC}}{E_{AC} \times \eta \times \sqrt{3}} \quad (\text{II.17})$$

Dimana :

$I_{ac}$  = Kebutuhan daya AC untuk *rectifier* (A)

$E_{DC}$  = Total tegangan DC *rectifier* (V)

$I_{DC}$  = Arus Keluaran DC (A)

$E_{AC}$  = Total tegangan AC *rectifier* (V)

$\eta$  = Efisiensi transformer-*rectifier*

### 12. Kapasitas Transformer-*Rectifier*

$$P_{AC} = \sqrt{3} \times I_{AC} \times E_{AC} \quad (\text{II.18})$$

Dimana :

$P_{AC}$  = Kapasitas transformer-*rectifier*

$I_{AC}$  = Kebutuhan daya AC untuk *rectifier* (A)

$E_{AC}$  = Total tegangan AC *rectifier* (V)

## II.7.2.3. Keuntungan dan Kerugian

Berikut ini beberapa keuntungan dan kerugian dari penggunaan proteksi katodik arus paksa :

#### ➤ Keuntungan

- Kapasitas output yang sangat tinggi, dengan jumlah arus yang dapat dirancang pada sistem bervariasi mulai dari ampere yang kecil hingga ratusan ampere. Sehingga jangkauan proteksi yang diberikan besar.
- Fleksibilitas kapasitas output dari sumber arus (*rectifier*) dapat diatur dengan mudah untuk mengakomodasi perubahan tahanan sirkuit atau kebutuhan arus. Sehingga level proteksi juga dapat dikontrol sesuai kebutuhan



- Jumlah anoda yang digunakan lebih sedikit, bahkan untuk elektrolit dengan tahanan yang tinggi
- Cocok untuk semua nilai resistivitas
- Sistem dapat didesain untuk masa guna lebih dari 20 tahun
- Biaya awal lebih murah
- Kekurangan
  - Resiko yang didapatkan relatif tinggi sehingga menyebabkan efek interferensi arus. Biasa terjadi pada struktur terproteksi yang berdekatan
  - Biaya instalasi peralatan listrik lebih mahal dan membutuhkan perlengkapan yang kompleks
  - Pengaruh *supply* energi dari *rectifier* yang vital. Kerusakan sedikit saja akan berakibat fatal pada kinerja sistem produksi
  - Biaya perawatan lebih tinggi dibanding sistem anoda korban

### II.7.3. Coating (Pelapisan)

Pelapisan logam adalah suatu cara yang dilakukan untuk memberikan sifat tertentu pada suatu permukaan benda kerja. Proses ini diharapkan mengalami perbaikan terhadap ketahanannya serta tidak menutup kemungkinan pula terjadi perbaikan terhadap sifat fisiknya. Sifat proteksi dari pelapisan bergantung pada beberapa hal yaitu jenis pelapisan, substrat logam, dan preparasi permukaan. Fungsi dari pelapisan memiliki bermacam-macam tujuannya antara lain untuk dekoratif, protektif, dan untuk mendapatkan sifat khusus pada permukaan seperti memberikan gaya apung negatif (*negative buoyancy force*) sebagai fungsi anti slip pada permukaan substratnya. (Holmberg, K. Dan Matthews, 2010)



### II.7.3.1. Bahan Penyusun *Coating*

Untuk melakukan proses pelapisan terdapat bahan-bahan dasar yang berfungsi sebagai komponen utama agar pelapisan yang dilakukan tertutup secara sempurna. Bahan dasar tersebut terbagi atas 4 macam yaitu pengikat (*binder*), aditif, solven, dan *pigmen* (zat pewarna).

#### 1. *Binder* (Pengikat)

*Binder* berfungsi sebagai pengikat antara komponen pelapis terhadap substratnya. Jenis-jenis dari binder yang sering ditemui ialah *alkyd*, *vinyl*, resin alam, *epoxy* dan *urethane*. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan *binder* adalah proses *curing* dan nilai viskositasnya.

Proses *curing* pada *binder* terbagi menjadi dua cara. Pertama adalah melalui evaporasi solven. Binder yang mengalami *curing* seperti ini disebut binder thermoplastic atau non-covertible. Kedua adalah lewat reaksi kimia selama atau setelah proses pengecatan. Binder ini dikenal sebagai binder thermosetting.

Hal perlu dipelajari selanjutnya adalah viskositas/kekentalan zat pengikat. Coating harus mempunyai viskositas cukup rendah untuk bisa digunakan dengan peralatan pengecatan sederhana (brush, roller atau spray) serta memiliki viskositas cukup tinggi sehingga tidak menetes. Faktor utama yang menentukan viskositas binder adalah berat molekularnya. Polimer yang mempunyai berat molekul tinggi akan lebih viskous daripada BM rendah. Ada dua cara untuk mengontrol viskositas suatu coating, yaitu dengan memvariasi berat molekul binder atau dengan menambahkan sejumlah solven.

#### 2. *Aditif*

Aditif merupakan senyawa-senyawa kimia yang biasa ditambahkan dalam *coating* namun dalam jumlah yang cenderung sedikit. Contoh bahan yang termasuk



kedalam aditif adalah *surfaktan*, alat anti endapan (*anti-settling agent*), alat pencampuran (*coalesching agents*), alat tahan pengulitan (*anti-skinning agents*), katalis, *defoamers*, penyerapan cahaya ultraviolet (*ultraviolet light absorbers*), alat dispersi, bahan pengawet (*preservativies*), pengering (*driers*), dan *plastisizers*.

### 3. Solven

Solven berfungsi untuk melarutkan binder pada *coating* dan dapat mengubah-ubah kekentalannya. Prinsip kelarutan ini sangatlah penting karena mengacu pada sifat polar solven yang akan melarutkan senyawa yang polar juga. Laju penguapan solven juga memiliki pengaruh pada sifat-sifat pelapisnya. Hal ini disebabkan karena ketidakcocokan dalam pemilihan solven terhadap substratnya. Jika solven menguap terlalu cepat, maka *coating* tidak cukup waktu untuk membentuk lapisan halus dan kontinu.

### 4. Pigmen

Zat terakhir yang biasa diaplikasikan pada *coating* adalah pigmen yang berfungsi untuk pemberi warna pada *coating*. Selain itu, pigmen juga dapat berfungsi sebagai zat anti korosif sehingga sangat cocok untuk digunakan pada proses *finishing*. Pigmen dapat dikelompokkan menjadi pigmen organik dan anorganik. Pigmen anorganik contohnya adalah titanium dioksida dan besi oksida.  $\text{TiO}_2$  merupakan pigmen putih yang paling banyak digunakan, biasanya untuk *coating* eksterior.  $\text{TiO}_2$  mempunyai indeks refraksi yang tinggi dan stabil terhadap sinar ultraviolet dari sinar matahari yang dapat mendegradasi binder *coating*. Besi oksida merupakan pigmen merah yang digunakan untuk *coating* primer ataupun *topcoat*. Terdapat juga extender pigmen yang memberikan sedikit pengaruh terhadap warna dan ketahanan korosi namun banyak mempengaruhi sifat-sifat *coating* seperti densitas, aliran, *hardness* dan



permeabilitas. Contohnya adalah kalsium karbonat, kaolin, talc dan barium sulfat (barytes).

### II.7.3.2. Parameter Dalam Menggunakan *Coating*

Proses selanjutnya dapat dilakukan dengan mengetahui parameter dan perhitungan yang digunakan sebelum melakukan *coating*. Seorang formulator harus mengetahui kuantitas dan cara pengukurannya. Densitas coating dapat diukur menggunakan pycnometer. Berat padatan dapat dihitung dari formula coating atau ditentukan dengan menentukan berat material nonvolatil yang tetap ada setelah coating dievaporasi di dalam oven. Perhitungan formulasi sebelum menggunakan *coating* adalah sebagai berikut :

#### 1. Rasio pigmen/binder

Merupakan perbandingan berat pigmen terhadap berat binder. Topcoat biasanya memiliki P/B 1,0 atau kurang sedangkan primer coating mempunyai O/B 2-4. Coating gloss biasanya mempunyai P/B yang lebih rendah daripada coating flat.

#### 2. Konsentrasi volume pigmen (PVC)

Pigmen volume concentration (PVC) merupakan rasio volume pigmen terhadap volume total binder dan pigmen. Dua jenis coating dapat memiliki nilai P/B yang sama namun sangat berbeda nilai PVCnya. Secara sederhana hal ini dapat dihasilkan dengan menggunakan pigmen dengan densitas yang berbeda.

Nilai PVC dimana terdapat jumlah binder yang tepat untuk menghasilkan lapisan tipis permukaan secara sempurna untuk setiap partikel dari pigmen merupakan nilai PVC kritis (CPVC). Di atas nilai CPVC, tidak ada cukup binder untuk membasahi semua pigmen. Sedangkan di bawah nilai cPVC, terdapat kelebihan binder.

Beberapa sifat coating dapat secara signifikan dipengaruhi oleh variasi formulasi PVC. Ketahanan



abrasi dan kekuatan tarik terbaik biasanya terjadi apabila formulasi coating berada di bawah nilai CPVC dan secara cepat akan menurun ketika mendekati nilai CPVC. Pada formulasi di bawah CPVC, permeabilitas coating biasanya rendah dan secara cepat akan meningkat ketika CPVC dilewati. Karena adanya kerusakan sejumlah sifat-sifat fisik, kebanyakan coating eksterior kinerja tinggi seharusnya diformulasikan di atas CPVC.

### 3. **Densitas, berat solid dan volume solid**

Densitas, berat solid dan volume solid serta %binder dan %pigmen seringkali disebut sebagai konstanta fisik dari coating. Densitas biasanya dinyatakan dalam satuan pound per gallon. Berat solid coating biasanya dalam bentuk %non volatile, merupakan berat solid dibagi dengan berat total coating. Volume solid adalah %volume material non-volatil. Volume solid menentukan berapa luas are yang dapat dicoating. Kemudian %binder dan %pigmen merupakan persentase binder dan pigmen dalam coating.

### **II.7.3.3.Preparasi Coating**

Kunci dari suatu lapisan ialah kemampuan untuk melekat pada permukaan substrat. Permukaan substrat biasanya belum bisa langsung diberikan *coating* (pelapisan), karena kualitas permukaan substrat yang rendah serta kemungkinan adanya kotoran dan minyak dapat mengganggu sifat *adhesive* dari *coating*. Oleh karena itu perlu dilakukan proses preparasi terlebih dahulu sebelum dilakukan proses *coating*. Proses preparasi ini terdiri dari dua jenis, yaitu pembersihan secara kimiawi (*chemical cleaning*) dan pembersihan secara mekanik (*mechanical cleaning*).

1. *Chemical cleaning*, yaitu proses pembersihan dengan menggunakan bahan kimia. Cara pengaplikasiannya dapat diusapkan, disemprotkan, diuapkan, dan dicelupkan. Ada beberapa jenis *chemical cleaning*, antara lain :



- *Emulsion cleaning*, yaitu dengan menggunakan larutan berbahan dasar organik (*surfactant*) yang dapat membersihkan minyak seperti *detergent* atau *emulsifier*.
  - *Alkaline cleaning*, yaitu dengan menggunakan larutan garam alkali untuk membersihkan kotoran dan minyak. Larutan yang umum digunakan antara lain *sodium hydroxide* (NaOH) dan *sodium carbonate* (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Biasanya garam tersebut dilarutkan dengan air hangat sebanyak 40-80%. Setelah proses *alkaline cleaning*, semua zat *alkaline* harus dibersihkan dengan air atau uap agar tidak mengganggu kinerja *coating*.
  - *Pickling (Acid cleaning)*, yaitu dengan menggunakan larutan asam untuk membersihkan *scale* dan korosi. Larutan asam yang biasa digunakan yaitu asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) yang akan melarutkan oksida pada permukaan.
2. *Mechanical cleaning*, yaitu dengan menggunakan material abrasif untuk menghilangkan kotoran pada permukaan. Proses *mechanical* yang digunakan umumnya yaitu *grinding*, *sand blasting*, dan lain-lain. Kontaminan yang dapat dibersihkan antara lain *scale*, produk korosi, maupun sisa *coating* sebelumnya dengan mengikis permukaan material substrat tersebut.

#### II.7.3.4. Macam-Macam Proses *Coating*

Semakin pesatnya teknologi pembuatan material menyebabkan keikutsertaan pemakaian *coating* semakin maju. Hingga saat ini terdapat beberapa teknologi pelapisan yang sering digunakan. Antara lain :

##### 1. *Elektroplating*

Elektroplating atau lapis listrik adalah suatu proses pengendapan/deposisi suatu logam pelindung yang dikehendaki diatas logam lain dengan cara elektrolisa. Biasanya elektrolisa



dilakukan dalam suatu bejana yang disebut sel elektrolisa yang berisi larutan elektrolit/rendaman (bath). Pada rendaman ini tercelup paling tidak dua elektroda. Masing-masing elektroda dihubungkan dengan arus listrik, terbagi menjadi kutub positif dan negatif dikenal dengan kutub katoda dan anoda.

Pelapisan logam yang ditinjau dari sifat elektrokimia bahan pelapisnya ini, dapat dikategorikan sebagai pelapisan anodik dan pelapisan katodik. Pelapisan anodik dimana potensial listrik logam pelapis lebih anodik terhadap logam dasar/substrat, sedangkan pelapisan katodik merupakan pelapisan dimana potensial listrik logam pelapis lebih katodik terhadap substratnya. Keunggulan dari pelapisan anodik adalah sifat logam pelapis melindungi logam yang dilapisi, sementara itu pada pelapisan katodik lebih cocok digunakan pada pelapisan untuk tujuan dekoratif. Dalam perlindungan katodik, objek yang dilindungi adalah katoda, tetapi dalam perlindungan anodik, objek yang dilindungi adalah anoda. (ASM Metal Handbook, 1994)

Pada proses pelapisan logam, beberapa segi penting yang perlu diperhatikan dalam hal pembentukan deposit pelapisan logam ialah tentang potensial elektroda dan anoda terpolarisasi. Hal ini dapat dilihat dalam daftar deret daya gerak listrik pada Tabel II.2. Pada tabel tersebut, nilai potensial elektroda didapatkan berdasarkan hukum Nerst (Lowenheim, 1978), yang dirumuskan sebagai berikut :

$$E = E^0 + (0,059/n) \log a \quad (\text{II.19})$$

Dimana :

$E^0$  = Potensial elektroda standar bahan elektroda ( $\text{kg.m}^2.\text{dt}^{-3}.\text{A}^{-1}$ )

$n$  = Perubahan valensi

$a$  = Aktivitas (ox=bentuk teroksidasi; red=bentuk tereduksi; log=logam)



**Tabel II.9.** Deret Daya Gerak Listrik (Callister,2007)

Reaksi Elektroda		Standard potensial elektroda, $E^0$ (V)
↑ Katodik (Oksidasi)	$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au}_{(\text{s})}$	+1,420
	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}_{(\text{s})}$	+0,340
	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(\text{g})}$	0,000
	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}_{(\text{s})}$	-0,250
	$\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Co}_{(\text{s})}$	-0,277
↓ Anodik (Reduksi)	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}_{(\text{s})}$	-0,440
	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}_{(\text{s})}$	-0,763
	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}_{(\text{s})}$	-1,182
	$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}_{(\text{s})}$	-1,662
	$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}_{(\text{s})}$	-2,714
	$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}_{(\text{s})}$	-2,924

Sebagai contoh pelapisan anodik yaitu pelapisan pada baja (potensial listrik -0,44V) yang dilapisi dengan seng (potensial listrik -0,763V), maka seng bersifat lebih anodik terhadap baja. Logam seng akan mengorbankan dirinya dalam bentuk korosi sehingga logam yang lebih katodik terhindar dari korosi. Sedangkan contoh pelapisan katodik yaitu pelapisan pada tembaga (potensial listrik +0,340V) yang dilapisi emas (potensial listrik +1,420V), karena logam emas bersifat lebih mulia dibandingkan dengan logam tembaga, maka apabila logam pelapis mengalami cacat, logam yang dilapisi akan terekspose ke lingkungan dan bersifat anodik sehingga akan terjadi korosi lokal terhadap substrat.

Jika logam besi dilapisi tembaga, besi akan terlindungi dari korosi, sebab Cu ( $E^0_{\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}} = +0,34\text{V}$ ) memiliki potensi reduksi yang lebih positif dari besi Fe ( $E^0_{\text{Fe}^{2+}|\text{Fe}} = -0,44\text{V}$ ). Namun bila lapisan tembaga ini bocor/terbuka maka besi akan mengalami korosi yang lebih cepat. Selain dengan tembaga, besi juga dapat dilapisi dengan logam lain yang sulit teroksidasi. Logam lain yang dapat digunakan adalah yang memiliki potensial reduksi



lebih positif dibandingkan dengan besi, seperti perak, emas, nikel, timah, dan platina.

Untuk menghasilkan suatu produk pelapisan yang baik, hendaklah mempertimbangkan pemilihan logam pelapisan yang memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut :

1. Logam pelapis mempunyai ketahanan yang lebih terhadap pengaruh lingkungan dibanding logam dasar
2. Logam pelapis bukan sebagai pemicu korosi terhadap logam yang dilindungi seandainya mengalami goresan atau pecah dipermukaannya
3. Sifat-sifat fisik seperti kelenturan dan kekerasannya cukup memenuhi persyaratan operasional struktur atau komponen bersangkutan
4. Metode pelapisannya dapat bersesuaian dengan proses fabrikasi untuk hasil dari produk akhir

Ketebalan lapisan diusahakan semaksimal mungkin pada kondisi merata dan bebas dari pori-pori

## **2. Hot Dip Galvanizing (Galvanisasi Pencelupan Panas)**

Galvanisasi merupakan proses pelapisan logam dengan logam lain yang lebih mudah terkorosi, hal tersebut dimaksudkan untuk melindungi logam bagian dalam dari korosi, baik terlindungi secara posisi juga secara kimia. Galvanisasi juga bermaksud untuk membentuk logam yang mudah terkorosi tersebut menjadi 'anoda korban', yaitu anoda yang sengaja dikorbankan terkorosi.

Pada umumnya, pelapisan besi atau baja menggunakan zinc atau seng. Hal tersebut dikarenakan zinc lebih cepat terkorosi dibandingkan dengan besi atau baja, zinc juga lebih murah dan mudah ditemukan. Bahan lain yang biasa digunakan sebagai pelapis adalah aluminium.

*Hot Dip Galvanizing* adalah metode coating dengan komponen zinc. Komponen dicelupkan ke dalam *molten zinc bath* pada temperatur sekitar 450-470°C. Sederhananya proses galvanising meliputi *cleaning* - *pickling (acid)* - *fluxing* - dan



*dipping* (Pencelupan). Selain itu juga terdapat metode lain misal *calorising* (aluminum), *sheradizing* (zinc), *metal spray*, dll bisa dijadikan referensi untuk *metal coating* dengan bahan selain zinc.

Spesimen yang telah mengalami tahap persiapan (*pre treatment*) dan telah bersih dari segala pengotor dapat dilanjutkan pada langkah berikutnya yaitu dilakukan proses pencelupan (*galvanizing*). Selama proses galvanisasi berlangsung, cairan seng akan melapisi baja dengan membentuk lapisan baja seng kemudian barulah terbentuk lapisan yang sepenuhnya berupa unsur seng pada permukaan terluar baja, larutan yang digunakan minimal adalah 98% murni unsur seng. Tahap pencelupan dilakukan selama kurang lebih 1,5 menit. Ketebalan lapisan seng pada pelapisan dengan metode *Hot Dip Galvanizing* dapat dipengaruhi oleh kondisi permukaan, lamanya pencelupan dan temperatur pencelupan.

### 3. *Powder Coating*

*Powder Coating* merupakan salah satu sistem pengecatan yang berkembang pesat dewasa ini. Sistem ini ditemukan pertama kali pada tahun 1967 di Australia. Sistem pengecatan *powder coating* tidak mempergunakan bahan cair/pengencer yang biasa dilakukan pada cat konvensional. Sehingga tidak memerlukan pelarut untuk menjafa bagian *binder* dan *filler* dalam bentuk suspensi cair. *Powder Coating* umumnya dipakai untuk melapisi permukaan logam seperti besi dan aluminium. Sedangkan serbuk yang digunakan dapat berupa material termoplastik atau polimer termoset. Untuk mencapai daya rekat yang maksimal maka sebelum dilakukan pengecatan, bahan yang akan dicat dibersihkan dan diberikan treatment tertentu. Agar cat yang tadinya berupa *powder* atau serbuk bisa merekat dengan sempurna maka harus melalui oven dengan suhu 160 - 220 C°. Aplikasi penggunaan metode *powder coating* biasa digunakan pada ekstrusi aluminium, mobil, dan bagian-bagian sepeda. Teknologi baru memungkinkan bahan lain, seperti MDF atau



papan serat dengan densitas menengah, menjadi serbuk yang dilapisi dengan metode yang berbeda

#### 4. *Spin Coating*

Dapat diartikan sebagai pembentukan lapisan melalui proses peemutaran. Metode ini merupakan metode yang umum dan sederhana untuk pelapisan material polimer pada *wafer* silikon. Setelah larutan pelapis ditetaskan pada *wafer*, sudut dari pelapisan ditentukan dengan gaya sentrifugal yang dikendalikan dari larutan menyebar pada *wafer*, dan pada kecepatan tinggi (2000-4000 rpm) lapisan tipis terbentuk (Hak-jukim, 2002). Metode ini memiliki keunggulan yaitu dapat mencapai ketebalan yang sangat kecil.

*Spin coater* merupakan salah satu alat pelapis atau *coater* yang didasarkan pada gaya sentrifugal desposit pada substrat. Secara umum ketebalan ditentukan kecepatan putaran dan kekentalan deposit. Alat ini terdiri dari motor dan beberapa rangkaian elektronik yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan putaran. Motor DC adalah motor yang dapat digunakan untuk membuat *spin coater*. Pembuatannya dapat dilakukan dengan mengubah tegangan melalui PC. Pengubahan tegangan ini dilakukan dengan bantuan mikrokontroler.

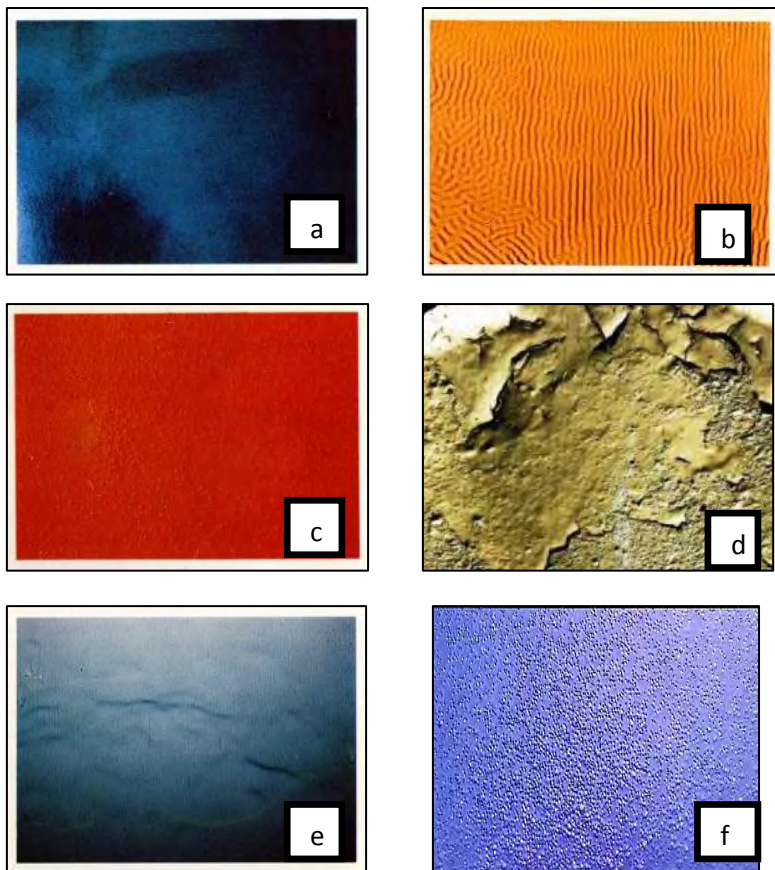
#### II.7.3.5. Kerusakan/Degradasi pada *Coating*

Semua jenis *coating* pasti mengalami suatu degradasi dari waktu ke waktu terlepas dari kondisi dimana *coating* tersebut diaplikasikan. Banyak faktor yang menyebabkan *coating* mengalami degradasi ketika sedang beroperasi seperti faktor lingkungan (pH, temperatur, abrasi, dsb), desain, proses *surface preparation* dan *handling* yang salah, maupun pada saat proses konstruksi. Bentuk dari degradasi *coating* juga dapat bervariasi menurut kemungkinan penyebab dari degradasi tersebut. Antara lain sebagai berikut :

- a. *Cratering*. Biasa disebut dengan *pitting*. Adanya indentasi yang kecil dan seragam pada lapisan *coating*.



- Pada umumnya disebabkan karena adanya kantong udara yang terjebak di dalam lapisan *coating* yang masih basah selama proses *spraying*
- b. *Blushing*. Lapisan *coating* yang datar dan terlihat seperti susu. Disebabkan karena adanya kondensasi uap air dengan penguapan yang cepat atau ketidaktepatan ketebalan dalam proses *spraying*.
  - c. *Wrinkling*. Permukaan kasar dan berkerut. Terkelupasnya permukaan karena terlalu tebal atau terlalu hangatnya cuaca, terutama pada *coating* berbasis minyak
  - d. *Blistering*. Adanya gelembung kecil atau besar yang disebabkan karena adanya pelarut yang terlengkap, minyak, uap air atau garam yang mengontaminasi permukaan dan juga dapat terjadi karena adanya *cathodic disbonding*.
  - e. *Pinholing*. Lubang kecil yang dalam dan terekspose pada substrat. Penyebab dari jenis degradasi ini adalah karena kurangnya proses atomisasi saat proses *spraying* (*coarse atomization*).
  - f. *Sags*. Adanya sisa aliran pada permukaan *coating* yang disebabkan karena jarak *spray gun* terlalu dekat dengan benda kerja, terlalu banyak *coating* atau permukaan benda kerja terlalu keras atau terlalu licin untuk menahan *coating*.
  - g. *Overspray*. Permukaan lapisan yang kering, tipis, dan berkerikil. Disebabkan karena partikel *coating* tidak cukup basa saat mencapai permukaan karena penguapan pelarut yang terlalu cepat. Bisa juga disebabkan karena jarak *spray gun* terlalu jauh dengan permukaan benda kerja.
  - h. *Delamination*. Terkelupasnya *coating* dari substrat karena ikatan pada *coating* terlalu lemah



**Gambar II.3.** (a) *blushing*, (b) *wingkling*, (c) *blistering*, (d) *delamination*, (e) *sags*, (f) *overspray* (Klaus, 2011)

## II.8. Pengukuran Potensial Setengah Sel

Pengukuran potensial setengah sel dilakukan dengan menggunakan tiga komponen elektroda, yaitu :

- a. Elektroda Kerja (*working electrode*)



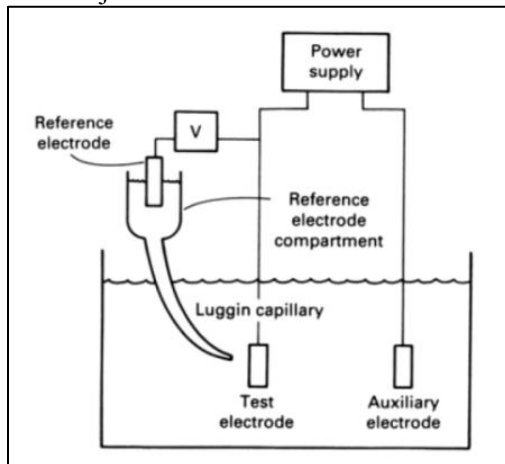
Ini merupakan sebutan untuk elektroda yang sedang diteliti.

b. Elektroda Pembantu (*auxiliary electrode*)

Elektroda yang dimaksud adalah elektroda kedua yang dimaksudkan khusus untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk. Elektroda ini diperlukan untuk pengukuran potensial.

c. Elektroda Acuan (*reference electrode*)

Elektroda ini dimaksudkan sebagai titik dasar yang *fixed* untuk mendasari pengukuran-pengukuran potensial elektroda kerja.



**Gambar II.4.** Tiga Komponen Elektroda  
(*ASM Metals Handbook, Vol.13A*)

Ketika voltmeter dihubungkan dengan elektroda acuan dan elektroda kerja, maka potensial yang terbaca sesungguhnya merupakan gabungan dari dua jenis potensial. Masing-masing potensial itu disebut potensial setengah sel. Berikut ini merupakan nilai potensial terhadap elektroda acuan  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$  beserta kondisi tingkat korosinya.



**Tabel II.10.** Kondisi Permukaan Logam Baja pada Berbagai Nilai Potensial (Peabody,2001)

Potential (V vs. Cu/CuSO <sub>4</sub> )	Condition of Steel
-0,5 to -0,6	Intense corrosion
-0,6 to -0,7	Corrosion
-0,7 to -0,8	Some protection
-0,8 to -0,9	Cathodic protection
-0,9 to -1,0	Some overprotection
-1,0 to -1,1	Increased overprotection
-1,1 to -1,4	Increasingly severe overprotection, coating disbondment and blistering, increasing risk of hydrogen embrittlement

Berdasarkan tabel II.7. dapat diketahui bahwa rentang potensial kerja yang digunakan untuk memproteksi baja yang digunakan adalah -8V hingga -9V. Perhitungan potensial kerja diukur berdasarkan pada elektroda acuan Cu/CuSO<sub>4</sub>. Sehingga ketika baja yang direndam didalam tanah diberi potensial kerja dengan rentang -8V hingga -9V maka baja dapat terproteksi. Pengaturan yang dilakukan tidak dapat kurang atau melebihi rentang yang telah ditentukan karena dapat mempengaruhi proteksi terhadap baja yang digunakan. Sebagaimana yang telah dicantumkan pada tabel II.7. apabila potensial kerja masih belum mencapai rentang yang diizinkan maka proteksi katodik berjalan pada beberapa bagian saja. Sehingga proteksi yang terjadi tidak berjalan secara menyeluruh dan dapat menyebabkan korosi pada sebagian area yang lainnya. Kemudian apabila potensial kerja lebih negatif dari -9V maka akan terjadi *overprotection* yang apabila proses terjadi secara terus menerus dapat menyebabkan perapuhan material akibat adanya ion hidrogen.





## II.9. Analisis Statistik Hasil Pengujian

### II.9.1. Regresi Linier Sederhana

Regresi linear sederhana adalah metode statistik yang berfungsi untuk menguji sejauh mana hubungan sebab akibat antara variabel faktor penyebab terhadap variabel akibatnya. Faktor penyebab pada umumnya dilambangkan dengan (x) atau disebut juga dengan *predictor* sedangkan variabel akibat dilambangkan dengan (y) atau disebut juga dengan *response*. Regresi linear sederhana atau sering disingkat dengan SLR (*Simple Linear Regression*) juga merupakan salah satu metode statistik yang dipergunakan dalam produksi untuk melakukan peramalan ataupun prediksi tentang karakteristik kualitas maupun kuantitas. Dalam penelitian ini, metode regresi linier sederhana digunakan untuk menganalisa adanya pengaruh yang ditimbulkan oleh adanya variasi cacat gores dan derajat keasaman tanah terhadap arus proteksi yang dibutuhkan dengan menggunakan sistem *Impressed Current Cathodic Protection*.

Persamaan yang digunakan dalam menghitung regresi linier adalah sebagai berikut :

$$b = \frac{n \cdot \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (\text{II.20})$$

$$a = \frac{\sum y - b \cdot \sum x}{n} \quad (\text{II.21})$$

$$y = a + b(x) \quad (\text{II.22})$$

### II.9.2. Regresi Linier Berganda

Analisis regresi linier berganda merupakan pengembangan dari analisis dari regresi linier sederhana. Kegunaannya yaitu untuk meramalkan nilai pengaruh variabel



akibat ( $y$ ) apabila variabel penyebabnya ( $x$ ) terdapat dua atau lebih. Hal ini untuk membuktikan ada tidaknya hubungan fungsional atau hubungan kasual antara dua atau lebih variabel bebas,  $x_1, x_2, \dots, x_i$  terhadap suatu variabel  $y$ . Nilai-nilai pada persamaan regresi berganda untuk dua variabel dapat ditentukan sebagai berikut:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (\text{II.23})$$

Dimana :

$y$  = variabel terikat

$a$  = konstanta

$x$  = variabel bebas

$b$  = koefisien regresi

$$b_1 = \frac{(\sum x_2^2)(\sum x_1 y) - (\sum x_1 x_2)(\sum x_2 y)}{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1 x_2)^2} \quad (\text{II.24})$$

$$b_2 = \frac{(\sum x_1^2)(\sum x_2 y) - (\sum x_1 x_2)(\sum x_1 y)}{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1 x_2)^2} \quad (\text{II.25})$$

$$a = \frac{\sum y}{n} - b_1 \left( \frac{\sum x_1}{n} \right) - b_2 \left( \frac{\sum x_2}{n} \right) \quad (\text{II.26})$$

### II.9.3. Uji Korelasi Sederhana

Analisis korelasi sederhana (Bivariate Correlation) digunakan untuk mengetahui keeratan hubungan antara dua variabel dan untuk mengetahui arah hubungan yang terjadi. Koefisien korelasi sederhana menunjukkan seberapa besar hubungan yang terjadi antara dua variabel.

Nilai korelasi ( $r$ ) berkisar antara 1 sampai -1, nilai semakin mendekati 1 atau -1 berarti hubungan antara dua variabel semakin kuat, sebaliknya nilai mendekati 0 berarti hubungan antara dua variabel semakin lemah. Nilai positif menunjukkan



hubungan searah (X naik maka Y naik) dan nilai negatif menunjukkan hubungan terbalik (X naik maka Y turun).

Menurut Sugiyono (2007) pedoman untuk memberikan interpretasi koefisien korelasi sebagai berikut:

0,00 - 0,199 = sangat rendah

0,20 - 0,399 = rendah

0,40 - 0,599 = sedang

0,60 - 0,799 = kuat

0,80 - 1,000 = sangat kuat

Untuk perhitungan dari nilai korelasi sederhana dapat menggunakan persamaan berikut :

$$r = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sqrt{\left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}\right)\left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}\right)}} \quad (\text{II.27})$$

#### II.9.4. Uji Korelasi Berganda

Adalah indeks atau angka yang digunakan untuk mengukur keeratan hubungan antara 3 variabel/lebih. Koefisien korelasi berganda dirumuskan :

$$ry_{1,2} = \sqrt{\frac{ry_1^2 + ry_2^2 - 2ry_1ry_2r_{12}}{1 - r_{12}^2}} \quad (\text{II.28})$$

Keterangan:

$ry_{1,2}$  : koefisien linier 2 variabel

$ry_1$  : koefisien korelasi y dan  $X_1$

$ry_2$  : koefisien korelasi variabel y dan  $X_2$

$r_{1,2}$  : koefisien korelasi variabel  $X_1$  dan  $X_2$

dimana :



$$ry_1 = \frac{n\sum x_1 y - (\sum y)(\sum x_1)}{\sqrt{(n\sum y^2 - (\sum y)^2)(n\sum x_1^2 - (\sum x_1)^2)}} \quad (\text{II.29})$$

$$ry_2 = \frac{n\sum x_2 y - (\sum y)(\sum x_1)}{\sqrt{(n\sum y^2 - (\sum y)^2)(n\sum x_2^2 - (\sum x_2)^2)}} \quad (\text{II.30})$$

$$r_{12} = \frac{n\sum x_1 x_2 - (\sum x_1)(\sum x_2)}{\sqrt{(n\sum x_1^2 - (\sum x_1)^2)(n\sum x_2^2 - (\sum x_2)^2)}} \quad (\text{II.31})$$

### II.9.5. Uji Signifikan Simultan (Uji Statistik F)

Uji statistik F pada dasarnya menunjukkan apakah semua variabel independen atau bebas yang dimasukkan dalam model mempunyai pengaruh secara bersama-sama terhadap variabel dependen/terikat.

$$F = \frac{R^2 / k}{(1 - R^2) / (n - k - 1)} \quad (\text{II.32})$$

Keterangan:

R : koefisien korelasi ganda

k : banyaknya variabel independen

n : banyaknya anggota sampel

### II.10. Kajian Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan pada penelitian yang sebelumnya, menurut Novian (2012) terdapat suatu pengaruh bentuk dan ukuran gores lapis lindung terhadap proteksi katodik pada baja AISI 1045 di lingkungan air laut. Penelitian dilakukan dengan memberikan goresan pada lapis lindung polietilena baja AISI 1045 dengan



variasi bentuk dan ukuran. Hasil yang telah didapatkan adalah pada bentuk goresan persegi panjang dengan pencelupan selama 20 hari, semakin besar ukuran goresan, maka laju korosi anoda semakin naik dari 3,83143 mpy menjadi 12,76827 mpy. Sedangkan pada pencelupan 40 hari, semakin besar ukuran goresan, maka laju korosi pada anoda semakin naik dari 2,58598 mpy menjadi 8,74699 mpy. Pada bentuk goresan lingkaran dengan pencelupan selama 20 hari, semakin besar ukuran goresan, maka laju korosi anoda semakin naik dari 2,25322 mpy menjadi 6,21776 mpy. Sedangkan pada pencelupan selama 40 hari, semakin besar ukuran goresan, maka laju korosi anoda semakin naik dari 2,44812 mpy menjadi 3,50343 mpy. Pada baja berlapis polietilena dengan bentuk goresan persegi panjang mempunyai laju korosi yang lebih tinggi daripada baja berlapis polietilena dengan bentuk goresan lingkaran. Pola korosi yang terlihat pada baja adalah *uniform corrosion* terutama pada area goresan. Sedangkan pola korosi yang terlihat pada anoda adalah cenderung *pitting corrosion*.

Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Nurus (2014) menyatakan bahwa terdapat suatu pengaruh pada pemberian luas cacat goresan terhadap lapis lindung dan salinitas air laut sebesar 3.2%, 3.5%, dan 3.8% terhadap arus proteksi sistem proteksi katodik arus paksa (ICCP). Luas goresan yang digunakan adalah 189 mm<sup>2</sup>, 568 mm<sup>2</sup>, 946.7 mm<sup>2</sup>, 1880 mm<sup>2</sup>, 5640 mm<sup>2</sup>, 9440 mm<sup>2</sup>, dan 13250 mm<sup>2</sup>. Spesimen tanpa goresan dan spesimen tanpa lapis lindung digunakan sebagai pembanding. Pipa API 5 L Grade B sebagai katoda dan grafit sebagai anoda inert serta *rectifier* sebagai penyearah arus. Arus proteksi ICCP diatur hingga mencapai nilai potensial proteksi sebesar -850 mV vs. SCE. Setelah 8 hari imersi awal dan 15 hari imersi untuk



pengukuran arus, didapatkan bahwa semakin besar goresan lapis lindung maka semakin besar arus proteksi yang dibutuhkan dalam salinitas air laut yang sama. Arus proteksi terbesar pada goresan 18934.2 mm<sup>2</sup> dalam salinitas 3.8% dengan rapat arus 154.8 mA/m<sup>2</sup>. Sedangkan arus proteksi terkecil pada goresan 0 mm<sup>2</sup> dalam salinitas 3.2% sebesar 7.18 mA/m<sup>2</sup>. Arus proteksi pada spesimen dengan luas goresan yang sama, arus proteksinya semakin meningkat seiring meningkatnya salinitas air laut. Arus proteksi terbesar berada pada salinitas 3.8% dengan nilai arus untuk spesimen tanpa goresan hingga tanpa lapis lindung berturut turut 11.46 mA/m<sup>2</sup>, 12.41 mA/m<sup>2</sup>, 14.25 mA/m<sup>2</sup>, 17.86 mA/m<sup>2</sup>, 43.47 mA/m<sup>2</sup>, 53.34 mA/m<sup>2</sup>, 64.96 mA/m<sup>2</sup>, 77.11 mA/m<sup>2</sup>, dan 154.8 mA/m<sup>2</sup>. Sedangkan arus terkecil pada salinitas 3.2% yaitu sebesar 7.18 mA/m<sup>2</sup>, 8.19 mA/m<sup>2</sup>, 10.52 mA/m<sup>2</sup>, 13.88 mA/m<sup>2</sup>, 24.55 mA/m<sup>2</sup>, 36.34 mA/m<sup>2</sup>, 44.21 mA/m<sup>2</sup>, 58.04 mA/m<sup>2</sup>, dan 89.54 mA/m<sup>2</sup>. Penggunaan lapis lindung pada spesimen memberikan pengaruh yang signifikan pada kebutuhan arus proteksi. Persaman regresi ganda untuk nilai arus proteksi (Y) dengan nilai salinitas (X<sub>1</sub>) dan luas goresan (X<sub>2</sub>) yaitu  $Y = -0.437 + 363.75 X_1 + 0.0051 X_2$  untuk salinitas 3.2% hingga 3.8% dan X<sub>2</sub> dalam mm<sup>2</sup>.

Dengan demikian, maka dilakukan penelitian lanjutan mengenai pengaruh dari variasi cacat goresan dengan bentuk lingkaran dan persegi panjang yang diberikan pada lapis lindung pada tanah dengan derajat keasaman yang berbeda-beda terhadap arus proteksi sistem *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) menggunakan baja AISI 1045.

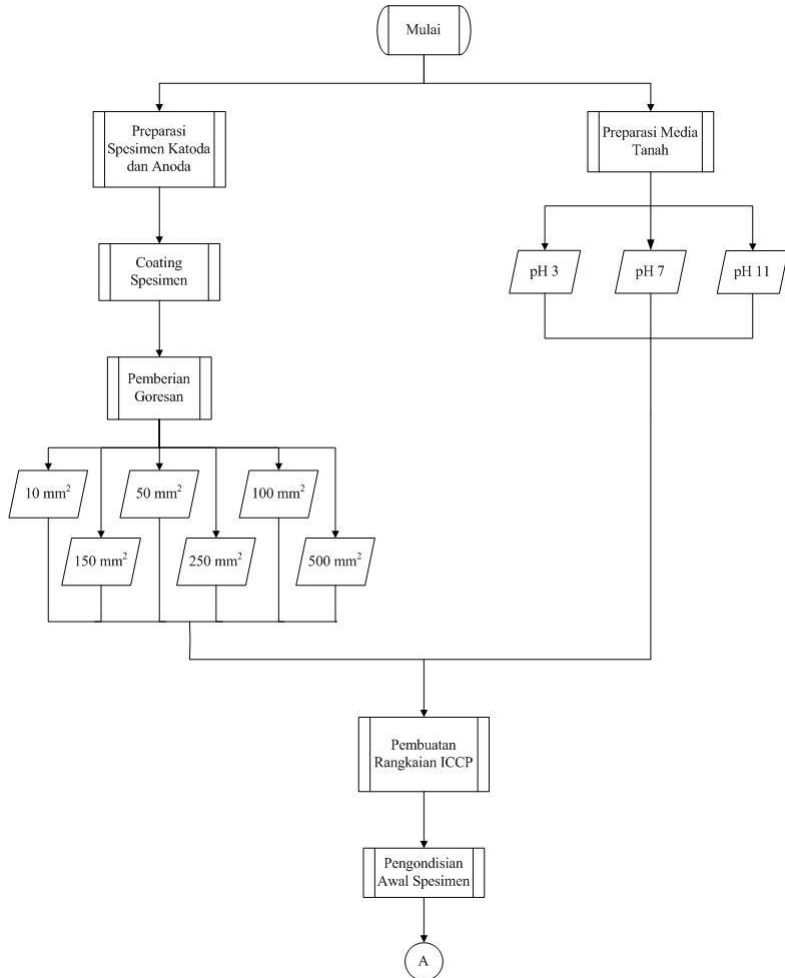


*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

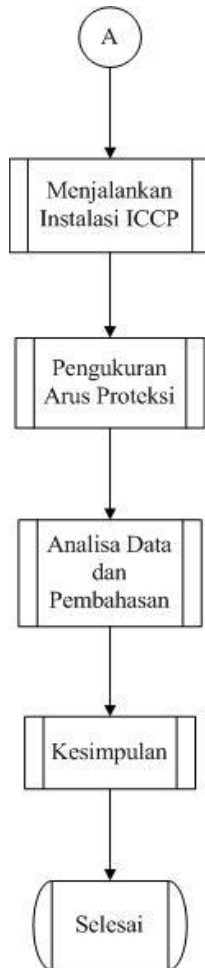


## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### III.1. Diagram Alir Penelitian







**Gambar III.1.** Diagram Alir Penelitian



### III.2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. Baja AISI 1045.

Baja AISI 1045 yang digunakan pada penelitian ini memiliki karakteristik fisik berbentuk silinder pejal dengan komposisi kimia seperti tabel berikut.

**Tabel III.1.** Komposisi kimia baja AISI 1045

Unsur	% berat
C	0,4-0,45
Si	0,1-0,3
Mn	0,6-0,9
Mo	Max. 0,025
P	Max. 0,04
S	Max. 0,05



**Gambar III.2.** Baja AISI 1045



## 2. Anoda Karbon Grafit

Penggunaan anoda pada rangkaian ini menggunakan material karbon grafit. Material ini memiliki sifat mekanik dengan kekerasan yang sangat tinggi. Namun memiliki kekurangan yaitu tergolong material getas. Adapun spesifikasinya adalah sebagai berikut :

**Tabel III.2** Spesifikasi Anoda Grafit

Material	Carbon Grafit
Kategori	Impregnated Epoxy Resin (H)
Model	M120H
Bentuk	Tubular
Dimensi	P=10 mm; d=36 mm
Masa Pakai	20 tahun
Komposisi Kimia	99,8% Carbon; 0,2% Ash
Laju Konsumsi	0,1-1kg/A.Year



**Gambar III.3.** Anoda Grafit



### 3. *Epoxy Filler Coating*

Cat *epoxy filler* merupakan cat yang biasa digunakan pada logam sehingga menutup rapat pori-pori kasar yang muncul dipermukaan. Selain itu juga dapat berfungsi sebagai zat anti korosif. Mekanisme penggunaannya dapat dicampurkan dengan hardener dan thinner A special dengan perbandingan 4:1:1



**Gambar III.4.** Epoxy Filler dan Hardener

### 4. *Cat Zinc Chromate*

Cat ini dapat digunakan untuk cat dasar pada baja yang berfungsi sebagai zat anti korosif dengan kualitas tinggi. Hal ini disebabkan komposisi cat yang terdiri dari resin alkyd dan zinc chromate yang diformulasikan untuk tahan terhadap korosi. Untuk mekanisme penggunaannya dapat dicampurkan langsung dengan thinner B spesial.



**Gambar III.5.** Cat Zinc Chromate

5. *Filler* Perekat (Lem Tembak)

Filler perekat atau biasa disebut dengan lem tembak. Fungsi dari bahan ini dapat menyambungkan 2 benda dengan melelehkan filler dan merekatkan kedua benda tersebut.



**Gambar III.6.** *Filler* Perekat (Lem Tembak)

6. Natrium Hidroksida (NaOH) 1M

Natrium Hidroksida (NaOH) termasuk kedalam larutan yang memiliki pH basa kuat. Dalam penelitian ini larutan



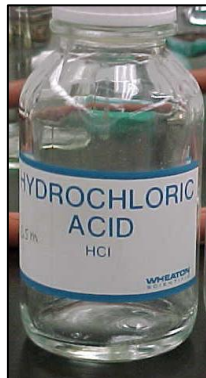
dicampurkan kedalam tanah agar kondisi derajat keasaman tanah mencapai daerah basa (pH 11).



**Gambar III.7.** Larutan NaCl

7. Asam Klorida (HCl) 1M

Sedangkan asam klorida termasuk kedalam larutan yang memiliki pH asam kuat. Dalam penelitian ini larutan dicampurkan kedalam tanah agar kondisi derajat keasaman tanah mencapai daerah asam (pH 3).



**Gambar III.8.** Larutan HCl



8. Aquades  
Digunakan untuk campuran larutan asam klorida dan natrium hidroksida hingga mencapai derajat keasaman yang diinginkan.
9. Tanah  
Merupakan media penghantar arus yang digunakan dalam penelitian ini. Sehingga arus dapat mengalir dari satu elektroda ke elektroda lainnya.

### III.3. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Gergaji Mesin  
Alat ini digunakan untuk memotong logam yang dipakai sebagai katoda. Pemotongan dilakukan untuk mendapatkan dimensi yang diinginkan.



**Gambar III.9.** Gergaji Mesin



2. *Container Box* plastik

Alat ini digunakan untuk wadah penampung tanah sebagai zat perantara arus proteksi. Selain itu, juga digunakan untuk campuran larutan aquades, natrium hidroksida (NaOH), dan asam klorida (HCl) yang nantinya akan difungsikan sebagai manipulasi derajat keasaman tanahnya.



**Gambar III.10.** *Container Box* Plastik

3. Kaca bening untuk sekat antar spesimen

Kaca bening ini digunakan sebagai sekat atau pemisah antar spesimen. Hal ini dimaksudkan agar tidak ada arus pengganggu antar spesimen satu dengan lainnya.

4. *Digital Multimeter*

Alat ini digunakan untuk pengukuran beda potensial yang berdasarkan pada elektroda acuannya.





**Gambar III.11.** *Digital Multimeter*

5. *Avometer*

Alat ini digunakan untuk mengukur arus proteksi yang berdasarkan pada arah jarum yang ditunjuk pada layar.



**Gambar III.12.** *Avometer*

6. Kertas indikator pH

Kertas indikator ini digunakan untuk mengukur pH larutan. Kalibrasi dilakukan menggunakan dengan mencocokkan warna pada wadah indikator yang tersedia



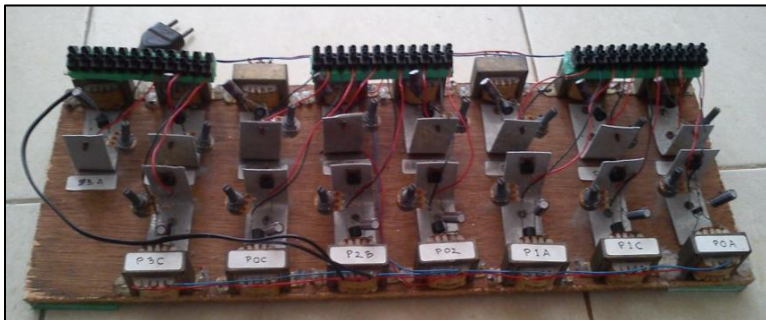
sesuai dengan tingkat pH. Cara kerjanya dengan memasukkan kedalam larutan beberapa saat.



**Gambar III.13.** Kertas Indikator pH

7. Rollmeter
8. Kertas Ampelas
9. Lakban
10. Kuas
11. *Rectifier*

Merupakan bagian dari *power supply*/catu daya yang berfungsi untuk mengubah sinyal tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi DC (*Dirrect Current*)



**Gambar III.14.** *Rectifier*



### 12. *Reference Electrode Cu/CuSO<sub>4</sub>*

Elektroda acuan ini digunakan untuk mendapatkan nilai potensial yang mengacu kepada *half-cell potensial* (potensial elektroda setengah sel).



**Gambar III.15.** *Reference Electrode Cu/CuSO<sub>4</sub>*

### 13. Mesin Bor

Alat ini digunakan untuk melubangi anoda karbon grafit agar dapat dipasangkan kawat tembaga sebagai penghantar arus listriknya



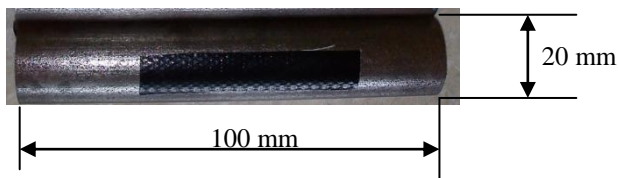
**Gambar III.16.** Mesin Bor



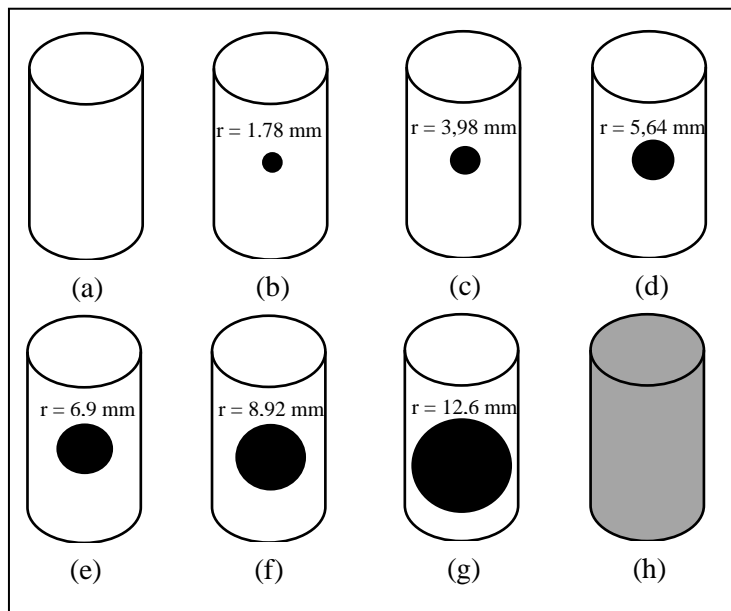
### III.4. Langkah-Langkah Penelitian

#### III.4.1. Preparasi Spesimen (Katoda)

- Material : Baja Karbon Menengah
- Panjang : 100 mm
- Diameter : 20 mm
- Jumlah : 42 spesimen
- Coating : *Zink Chromate* dan *Epoxy Filler*

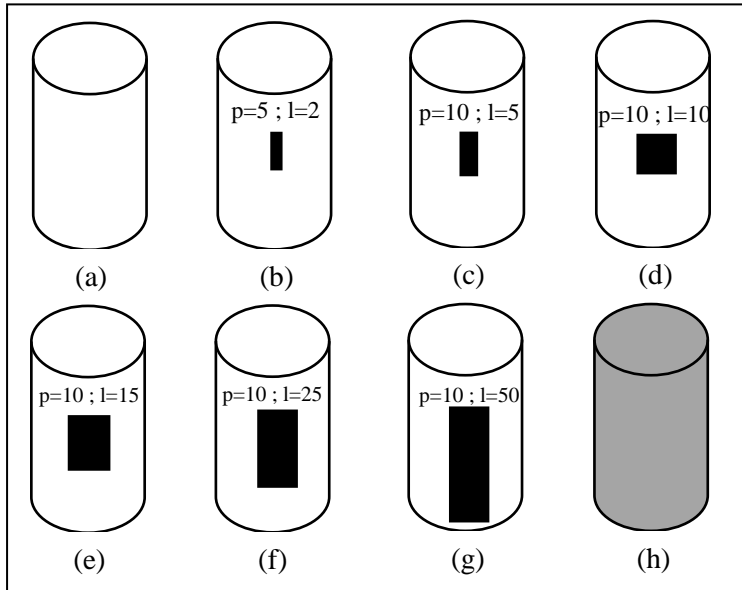


**Gambar III.17.** Spesimen Katoda





**Gambar III.18.** Ilustrasi Spesimen Katoda dengan Goresan Berbentuk Lingkaran Seluas: (a)  $0 \text{ mm}^2$  (*Full Coating*), (b)  $10 \text{ mm}^2$ , (c)  $50 \text{ mm}^2$ , (d)  $100 \text{ mm}^2$ , (e)  $150 \text{ mm}^2$ , (f)  $250 \text{ mm}^2$ , (g)  $500 \text{ mm}^2$ , (h) Tanpa *Coating*



**Gambar III.19.** Ilustrasi Spesimen Katoda dengan Goresan Berbentuk Persegi Panjang Seluas: (a)  $0 \text{ mm}^2$  (*Full Coating*), (b)  $10 \text{ mm}^2$ , (c)  $50 \text{ mm}^2$ , (d)  $100 \text{ mm}^2$ , (e)  $150 \text{ mm}^2$ , (f)  $250 \text{ mm}^2$ , (g)  $500 \text{ mm}^2$ , (h) Tanpa *Coating*

Langkah preparasi spesimen katoda adalah sebagai berikut :

1. Memotong baja menjadi 42 bagian dengan gergaji mesin.
2. Baja dipotong dengan ukuran panjang masing-masing 100 mm dan diameter 20 mm



3. Melubangi spesimen katoda dengan mengebor salah satu ujungnya untuk tempat pemasangan kabel katoda.
4. Membersihkan permukaan luar spesimen katoda dari produk korosi yang ada dengan gerinda dan ampelas.
5. Menempelkan lakban dengan ukuran yang telah ditetapkan pada permukaan spesimen katoda sebagai tanda goresan (bagian yang tidak tertutup cat)
6. Melakukan pengecatan dengan cat *zinc chromate* sebanyak 2 lapis secara merata
7. Mengeringkan spesimen dibawah sinar matahari
8. Melapisi spesimen dengan *epoxy filler* sebanyak 2 lapis secara merata dan mengeringkannya kembali dibawah sinar matahari
9. Memasang kabel pada katoda melalui mur dan baut pada baja kemudian ditutup dengan memberikan lem tembak
10. Membuka lakban yang menempel sehingga ada bagian yang terbuka (goresan)

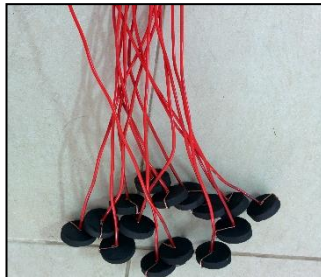
Spesimen (baja AISI 1045) berjumlah 42 buah, 39 diantaranya dilapisi dengan lapis lindung dan 3 spesimen tidak diberi lapis lindung sama sekali. Dari 39 spesimen dengan lapis lindung, 36 diantaranya diberikan goresan dengan ukuran yang berbeda dan sisanya 3 spesimen tidak diberikan goresan. Spesimen yang tidak diberikan lapis lindung dan tidak diberi goresan digunakan sebagai pembanding.

### III.4.2. Preparasi Anoda

Langkah preparasi spesimen anoda adalah sebagai berikut :



1. Memotong anoda hingga berukuran tebal  $\pm 10$  mm dan dengan diameter 36 mm
2. Memberi lubang pada bagian tengah anoda sebagai tempat memasang kabel anoda
3. Memasang kabel pada anoda



**Gambar III.20.** Preparasi anoda

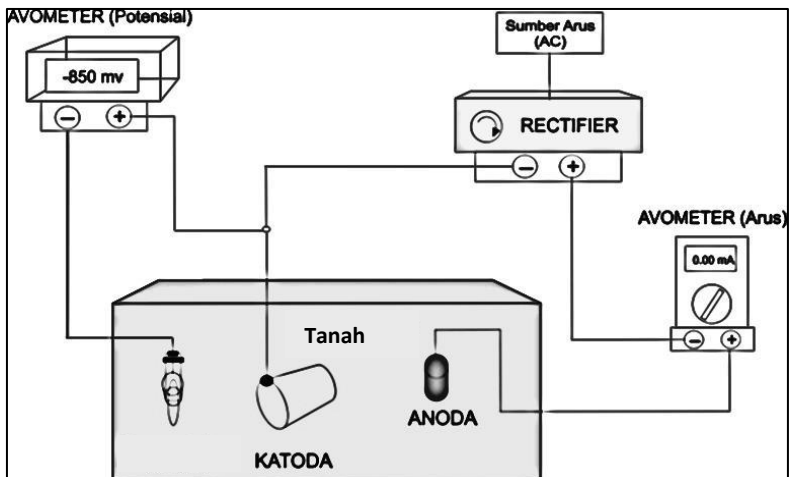
#### **III.4.3. Preparasi Media Tanah**

Pada penelitian ini menggunakan media tanah yang berbeda-beda. Terdapat 3 perbedaan pH tanah yang akan diujikan. Pengambilan media tanah yang berbeda ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kebutuhan arus proteksi yang dibutuhkan pada lingkungan tanah yang asam, netral, dan basa. Untuk mendapatkan tanah yang netral dapat menggunakan tanah pada umumnya dikarenakan tingkat keasaman maupun basanya tidak terlalu besar dan memiliki kecenderungan untuk mendekati daerah pH netral. Kemudian untuk merubah pH tanah menjadi asam dapat ditambahkan dengan larutan Asam Klorida (HCl) sesuai dengan kebutuhan. Sedangkan untuk merubah lingkungan tanah dengan pH basa dapat menambahkan Natrium Hidroksida (NaOH) kedalam tanah tersebut.



#### III.4.4. Pembuatan Rangkaian ICCP

Setelah melakukan pengondisian pada spesimen dan media tanah maka langkah selanjutnya adalah memasang rangkaian ICCP. Spesimen baja AISI 1045 dipasang sebagai katoda yang akan diproteksi sedangkan grafit dipasang sebagai anoda. Katoda dan anoda dihubungkan melalui kabel dengan rectifier sebagai pengubah arus AC menjadi DC. Untuk pengukuran arus proteksi maka dipasangkan avometer secara seri kedalam rangkaian, sedangkan untuk penunjuk potensial menggunakan multitester. Skema dari rangkaian sistem ICCP dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar III.21. Skema Rangkaian ICCP

#### III.4.5. Pengukuran Arus Proteksi

Setelah rangkaian dipasang maka langkah selanjutnya adalah pengukuran kebutuhan arus proteksi yang digunakan pada sistem ICCP ini. Metode pengukuran yang digunakan mengacu





kepada *half-cell potensial* (potensial elektroda setengah sel). Dimana beda potensial yang diukur berdasarkan perbedaan tegangan antara elektroda kerja dengan referensi yang dimasukkan kedalam tanah. Elektroda acuan yang digunakan pada sistem ini adalah elektroda acuan  $\text{Cu/CuSO}_4$ . Dengan mendapatkan nilai potensial terhadap elektroda acuannya, maka arus proteksi yang digunakan dapat diatur dengan sedemikian rupa sehingga nilai potensial yang bekerja pada spesimen dapat berada dalam kondisi imun/dapat terproteksi.

#### **III.4.6. Rancangan Penelitian**

Penelitian dilakukan untuk mengetahui nilai arus proteksi dengan melakukan pengukuran setiap hari selama 7 hari. Hal ini mengacu pada standard NACE TM0169-2000 "*Laboratory Corrosion Testing of Metals*". Data arus proteksi pada sistem didapatkan setelah arus tersebut diatur sehingga nilai potensial yang bekerja berada pada  $-850\text{mV}$  dimana baja akan mulai terproteksi. Pengukuran dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali agar mendapatkan nilai arus proteksi yang lebih tepat dan pengukuran tersebut diambil nilai rata-ratanya. Kemudian pengambilan data secara visual dengan skala makro dilakukan pada tiap-tiap spesimen untuk mengetahui perubahan fisik yang terjadi.



**Tabel III.3.** Rencana Pengukuran Arus Proteksi

No	Dimensi Cacat (mm)	Luas Cacat (mm <sup>2</sup> )	Pengukuran		No	Dimensi Cacat (mm)	Luas Cacat (mm <sup>2</sup> )	Pengukuran	
			v (V)	I (mA)				v (V)	I (mA)
1	r=1,784	10			8	p=10; l=15	150		
Rata-rata					Rata-rata				
2	p=5; l=2	10			9	r=8,921	250		
Rata-rata					Rata-rata				
3	r=3,989	50			10	p=10; l=25	250		
Rata-rata					Rata-rata				
4	p=5; l=10	50			11	r=12,616	500		
Rata-rata					Rata-rata				
5	r=5,642	100			12	p=10; l=10	500		
Rata-rata					Rata-rata				
6	p=10; l=10	100			13	Tanpa Coating	-		
Rata-rata					Rata-rata				
7	r=6,910	150			14	Full Coating	-		
Rata-rata					Rata-rata				



*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*



## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### IV.1 Analisa Komposisi Kimia

Analisa awal yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan melihat komposisi kimia pada baja AISI 1045. Hasil yang didapatkan dengan pengujian spektrometer sebagai berikut :

**Tabel IV.1.** Hasil Pengujian Spektrometer

Parameter Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
Uji Komposisi Kimia :			
C	%	0,012	JIS G 1253 : 2002
Si	%	0,002	
Mn	%	0,005	
P	%	0,001	
S	%	0,002	
Cu	%	0,016	
Ni	%	0,026	
Cr	%	0,058	
Mo	%	0,016	
Al	%	0,004	
Fe	%	98,66	

Pengujian ini menggunakan standar uji JIS G 1253 : 2002, baja AISI 1045 ini memiliki kadar Fe yang cukup tinggi yaitu mencapai 98,66%. Selain itu juga terdapat unsur lainnya yang cukup berperan penting dalam penggunaan baja ini. Semisal unsur karbon yang berfungsi sebagai peningkat kekuatan maupun kekerasan sehingga sangat cocok untuk dapat diaplikasikan sebagai baja konstruksi. Selain itu, juga terdapat unsur Cr dan Mn yang dapat digunakan untuk ketahanan terhadap korosi dan abrasi. Namun dapat dilihat dari tabel IV.1. kedua unsur tersebut



masih memiliki persentase yang sangat kecil, sehingga baja ini sangat rentan untuk terjadi korosi pada permukaannya. Sehingga diperlukan proteksi katodik yang berfungsi sebagai penghambat laju korosinya. Salah satu metodenya adalah dengan sistem *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP), sebagaimana yang digunakan pada penelitian ini.

#### IV.2. Pengukuran Potensial Awal

Pengukuran potensial awal dilakukan pada baja AISI 1045 sebelum instalasi ICCP dinyalakan. Baja dimasukkan kedalam tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11. Nilai potensial awal sebelum imersi ini dilakukan untuk mengetahui nilai potensial sebelum dan sesudah instalasi ICCP yang selanjutnya dapat digunakan sebagai patokan untuk menentukan arus proteksi yang dibutuhkan pada masing-masing spesimen dalam tanah dengan derajat keasaman yang berbeda-beda. Hal ini juga berfungsi agar nilai potensial dapat dikontrol pada tingkat potensial proteksinya. Untuk mendapatkan nilai potensial awal dapat dilakukan dengan menggunakan metode *half-cell potential* dimana potensial yang terukur pada avometer sesuai dengan elektroda referensinya yaitu  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ .

**Tabel IV.2.** Nilai Potensial Awal Baja dalam Kondisi Tanah dengan pH 3

pH Tanah	Bentuk Goresan	Luas Goresan ( $\text{mm}^2$ )	Potensial Awal (-mV)
3	Lingkaran	10	764
		50	745
		100	753
		150	697
		250	712
		500	706



	Persegi Panjang	10	755
		50	730
		100	745
		150	710
		250	702
		500	698
	Tanpa Goresan	0	778
	Tanpa <i>Coating</i>	6911,5	701

**Tabel IV.3.** Nilai Potensial Awal Baja dalam Kondisi Tanah dengan pH 7

pH Tanah	Bentuk Goresan	Luas Goresan (mm <sup>2</sup> )	Potensial Awal (-mV)
7	Lingkaran	10	768
		50	761
		100	783
		150	720
		250	722
		500	719
	Persegi Panjang	10	776
		50	755
		100	764
		150	739
		250	718
		500	723
	Tanpa Goresan	0	782
	Tanpa <i>Coating</i>	6911,5	720



**Tabel IV.4.** Nilai Potensial Awal Baja dalam Kondisi Tanah dengan pH 11

pH Tanah	Bentuk Goresan	Luas Goresan (mm <sup>2</sup> )	Potensial Awal (-mV)
11	Lingkaran	10	789
		50	770
		100	740
		150	725
		250	748
		500	736
	Persegi Panjang	10	790
		50	781
		100	765
		150	759
		250	782
		500	760
	Tanpa Goresan	0	792
	Tanpa <i>Coating</i>	6911,5	733

### IV.3. Pengukuran Arus Proteksi

Pada penelitian ini menggunakan baja AISI 1045 sebagai katoda yang akan diproteksi dengan dimensi panjang 100 mm dan diameter 20 mm. Sedangkan anoda yang digunakan adalah Grafit M120H *Impregnated Epoxy* dengan panjang 15 mm dan diameter 36 mm. Sebelumnya baja AISI 1045 tersebut dilapisi dengan cat primer *zink chromate* dan *outer layer* dengan menggunakan *epoxy filler*. Hal ini berfungsi agar baja dapat terproteksi dari korosi dan tidak terjadi kontak langsung dengan lingkungan sekitar. Setelah itu memberikan cacat goresan berbentuk persegi panjang dan lingkaran pada spesimen dengan luasan 10 mm<sup>2</sup>, 50 mm<sup>2</sup>, 100 mm<sup>2</sup>, 150 mm<sup>2</sup>, 250 mm<sup>2</sup>, dan 500 mm<sup>2</sup>. Kemudian sebagai acuan



juga disediakan spesimen yang diberi lapis lindung seluruhnya dan tidak diberi sama sekali. Cacat gores yang diberikan berfungsi untuk mengetahui seberapa besar pengaruh terhadap arus proteksi yang diberikan. Langkah selanjutnya memasang kabel tembaga pada baja AISI 1045 dan anoda grafit. Pada kutub negatif (-) dipasangkan menuju ke baja AISI 1045 sedangkan kutub positif (+) dihubungkan ke anoda. Keduanya dipasangkan untuk dialiri arus listrik dengan menggunakan *rectifier*, hal ini dimaksudkan untuk mengubah arus dari AC menjadi DC.

Spesimen diujikan kedalam lingkungan tanah dengan pH yang berbeda-beda yaitu 3, 7, dan 11. Hal ini juga digunakan untuk mengetahui pengaruh yang ada terhadap arus proteksinya. Pengukuran dilakukan dengan dua avometer. Avometer pertama digunakan untuk mengukur arus yang diberikan pada rangkaian. Adapun avometer kedua digunakan untuk mengukur nilai potensial acuan hingga mendapatkan nilai -850 mV terhadap elektroda referensi Cu/CuSO<sub>4</sub>. Dengan mendapatkan nilai potensial terhadap elektroda acuannya, maka arus proteksi yang digunakan dapat diatur dengan sedemikian rupa sehingga nilai potensial yang bekerja pada spesimen dapat berada dalam kondisi imun/dapat terproteksi.

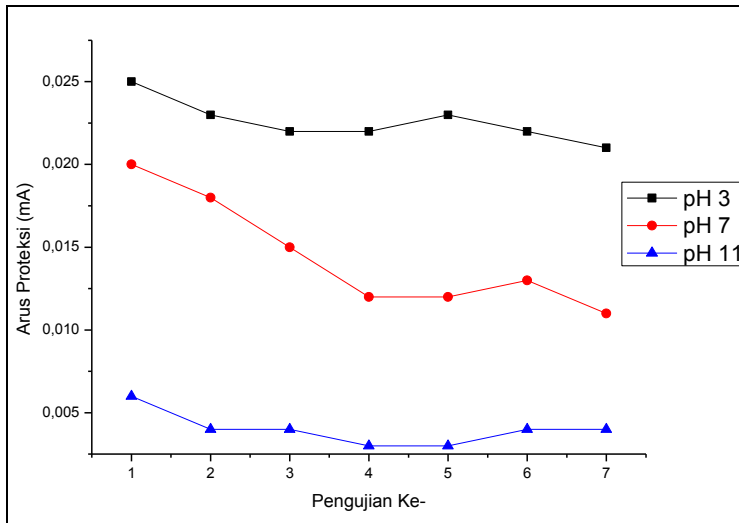
#### **IV.3.1. Perbandingan Hasil Pengukuran Arus Proteksi Terhadap Derajat Keasaman Tanah**

Analisa data yang dilakukan dengan meneliti perbedaan arus proteksi dari masing-masing spesimen pada kondisi derajat keasaman/ pH tanah yang berbeda yaitu 3, 7, dan 11. Hasil yang didapatkan berdasarkan nilai rata-rata dari 3 kali pengulangan data. Kemudian pengambilan data dilakukan selama 7 hari, didapatkan nilai arus proteksi yang dibutuhkan masing-masing spesimen adalah sebagai berikut :





#### IV.3.1.1. Hasil Pengukuran Arus Proteksi Baja Tanpa Goresan

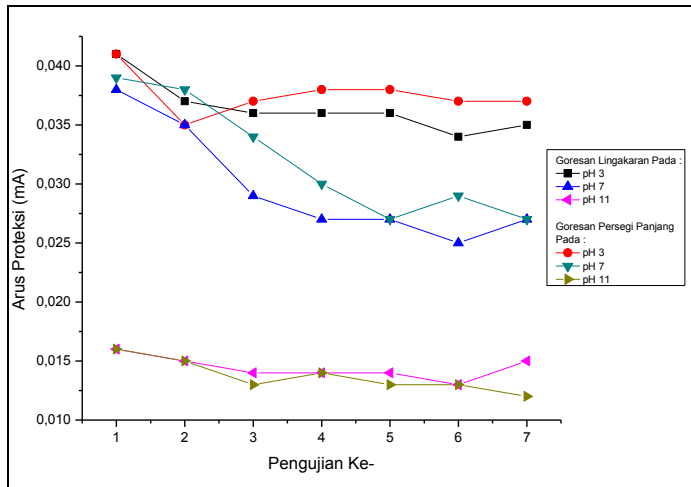


**Gambar IV.1.** Grafik Arus Proteksi Baja Tanpa Goresan dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11

Pengukuran dilakukan untuk menganalisa adanya pengaruh arus proteksi terhadap lingkungan tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11 untuk spesimen baja AISI 1045 tanpa diberi goresan. Dapat dilihat pada gambar IV.1., pada tanah dengan pH 11 arus proteksi yang dibutuhkan antara 0,003-0,006 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,004 mA. Kemudian pada tanah dengan pH 7 arus proteksi yang dibutuhkan antara 0,011-0,02 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,014 mA. Sedangkan pada tanah dengan pH 3 arus proteksi yang dibutuhkan antara 0,021-0,025 mA dengan rata-rata sebesar 0,023 mA. Berdasarkan data yang telah disebutkan diatas, arus proteksi yang terbesar terdapat pada lingkungan tanah dengan pH 3 yaitu sebesar 0,023 mA, dan arus proteksi yang terkecil terdapat pada lingkungan tanah dengan pH 11 yaitu sebesar 0,004 mA.



#### IV.3.1.2. Hasil Pengukuran Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 10 mm<sup>2</sup>



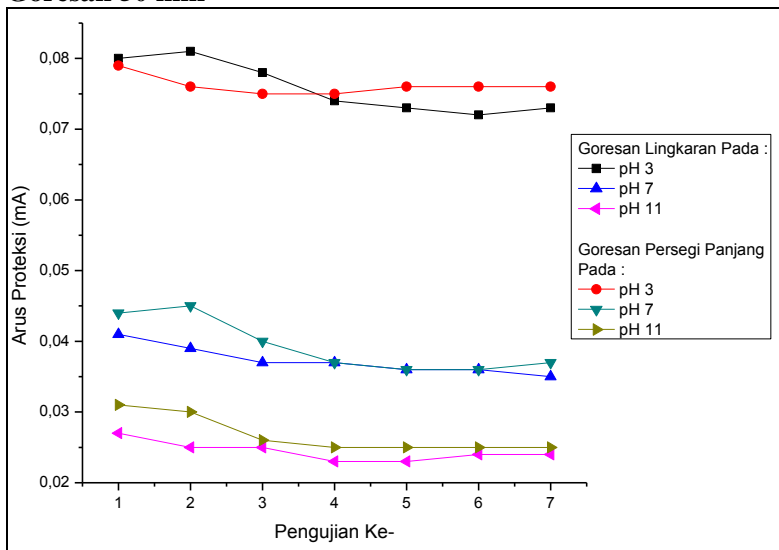
**Gambar IV.2.** Grafik Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 10 mm<sup>2</sup> Berbentuk Lingkaran dan Persegi Panjang dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11

Pengukuran dilakukan untuk menganalisa adanya pengaruh arus proteksi terhadap lingkungan tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11 untuk spesimen baja AISI 1045 dengan luas goresan sebesar 10 mm<sup>2</sup> berbentuk lingkaran dan persegi panjang. Dapat dilihat pada gambar IV.2., pada tanah dengan pH 11 arus proteksi yang dibutuhkan untuk goresan berbentuk lingkaran antara 0,013-0,016 mA dengan rata-rata sebesar 0,014 mA dan goresan berbentuk persegi panjang antara 0,012-0,016 mA dengan rata-rata sebesar 0,014 mA. Kemudian pada tanah dengan pH 7 arus proteksi yang dibutuhkan untuk goresan berbentuk lingkaran antara 0,025-0,038 mA dengan rata-rata sebesar 0,03 mA dan goresan berbentuk persegi panjang antara 0,027-0,039 mA dengan rata-rata sebesar 0,032 mA. Sedangkan pada tanah dengan pH 3 arus proteksi yang dibutuhkan untuk goresan



berbentuk lingkaran antara 0,034-0,041 mA dengan rata-rata sebesar 0,036 mA dan goresan berbentuk persegi panjang antara 0,036-0,041 mA dengan rata-rata sebesar 0,038 mA. Berdasarkan data yang telah disebutkan diatas, arus proteksi yang terbesar terdapat pada lingkungan tanah dengan pH 3 yaitu sebesar 0,038 mA, dan arus proteksi yang terkecil terdapat pada lingkungan tanah dengan pH 11 yaitu sebesar 0,014 mA. Faktor bentuk goresan pada lapis lindung juga berpengaruh pada besarnya arus proteksi yang dibutuhkan oleh baja. Dengan mengacu pada gambar IV.2., goresan dengan bentuk persegi panjang memiliki kecenderungan untuk membutuhkan arus proteksi yang lebih besar daripada bentuk lingkaran.

#### IV.3.1.3. Hasil Pengukuran Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 50 mm<sup>2</sup>



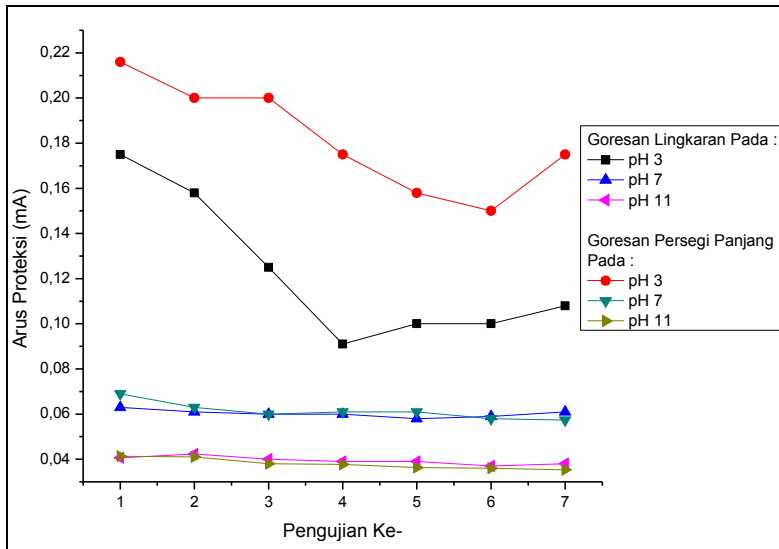
**Gambar IV.3.** Grafik Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 50 mm<sup>2</sup> Berbentuk Lingkaran dan Persegi Panjang dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11



Pengukuran dilakukan untuk menganalisa adanya pengaruh arus proteksi terhadap lingkungan tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11 untuk spesimen baja AISI 1045 dengan luas goresan sebesar 50 mm<sup>2</sup> berbentuk lingkaran dan persegi panjang. Dapat dilihat pada gambar IV.3., pada tanah dengan pH 11 arus proteksi yang dibutuhkan untuk goresan berbentuk lingkaran antara 0,023-0,027 mA dengan rata-rata sebesar 0,025 mA dan goresan berbentuk persegi panjang antara 0,025-0,031 mA dengan rata-rata sebesar 0,027 mA. Kemudian pada tanah dengan pH 7 arus proteksi yang dibutuhkan untuk goresan berbentuk lingkaran antara 0,035-0,041 mA dengan rata-rata sebesar 0,037 mA dan goresan berbentuk persegi panjang antara 0,037-0,045 mA dengan rata-rata sebesar 0,04 mA. Sedangkan pada tanah dengan pH 3 arus proteksi yang dibutuhkan untuk goresan berbentuk lingkaran antara 0,072-0,081 mA dengan rata-rata sebesar 0,076 mA dan goresan berbentuk persegi panjang antara 0,075-0,079 mA dengan rata-rata sebesar 0,076 mA. Berdasarkan data yang telah disebutkan diatas, arus proteksi yang terbesar terdapat pada lingkungan tanah dengan pH 3 yaitu sebesar 0,076 mA dan arus proteksi yang terkecil terdapat pada lingkungan tanah dengan pH 11 yaitu sebesar 0,025 mA. Faktor bentuk goresan pada lapis lindung juga berpengaruh pada besarnya arus proteksi yang dibutuhkan oleh baja. Dengan mengacu pada gambar IV., goresan dengan bentuk persegi panjang memiliki kecenderungan untuk membutuhkan arus proteksi yang lebih besar daripada bentuk lingkaran.



#### IV.3.1.4. Hasil Pengukuran Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 100 mm<sup>2</sup>



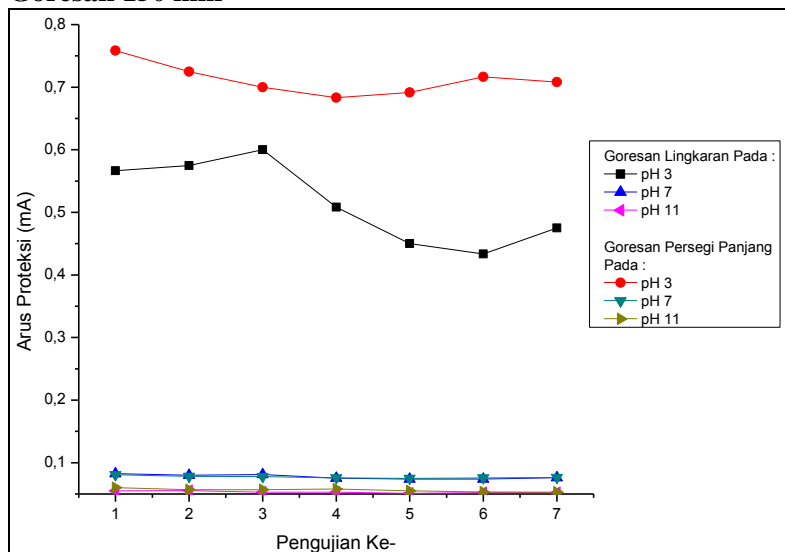
**Gambar IV.4.** Grafik Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 100 mm<sup>2</sup> Berbentuk Lingkaran dan Persegi Panjang dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11

Pengukuran dilakukan untuk menganalisa adanya pengaruh arus proteksi terhadap lingkungan tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11 untuk spesimen baja AISI 1045 dengan luas goresan sebesar 100 mm<sup>2</sup> berbentuk lingkaran dan persegi panjang. Dapat dilihat pada gambar IV.4., pada tanah dengan pH 11 arus proteksi yang dibutuhkan untuk goresan berbentuk lingkaran antara 0,037-0,042 mA dengan rata-rata sebesar 0,039 mA dan goresan berbentuk persegi panjang antara 0,035-0,041 mA dengan rata-rata sebesar 0,038 mA. Kemudian pada tanah dengan pH 7 arus proteksi yang dibutuhkan untuk goresan berbentuk lingkaran antara 0,058-0,064 mA dengan rata-rata sebesar 0,06 mA dan goresan berbentuk persegi panjang antara



0,057-0,069 mA dengan rata-rata sebesar 0,061 mA. Sedangkan pada tanah dengan pH 3 arus proteksi yang dibutuhkan untuk goresan berbentuk lingkaran antara 0,092-0,175 mA dengan rata-rata sebesar 0,123 mA dan goresan berbentuk persegi panjang antara 0,15-0,217 mA dengan rata-rata sebesar 0,182 mA. Berdasarkan data yang telah disebutkan diatas, arus proteksi yang terbesar terdapat pada lingkungan tanah dengan pH 3 yaitu sebesar 0,182 mA dan arus proteksi yang terkecil terdapat pada lingkungan tanah dengan pH 11 yaitu sebesar 0,039 mA. Faktor bentuk goresan pada lapis lindung juga berpengaruh pada besarnya arus proteksi yang dibutuhkan oleh baja. Dengan mengacu pada gambar IV.4., goresan dengan bentuk persegi panjang memiliki kecenderungan untuk membutuhkan arus proteksi yang lebih besar daripada bentuk lingkaran.

#### IV.3.1.5. Hasil Pengukuran Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 150 mm<sup>2</sup>



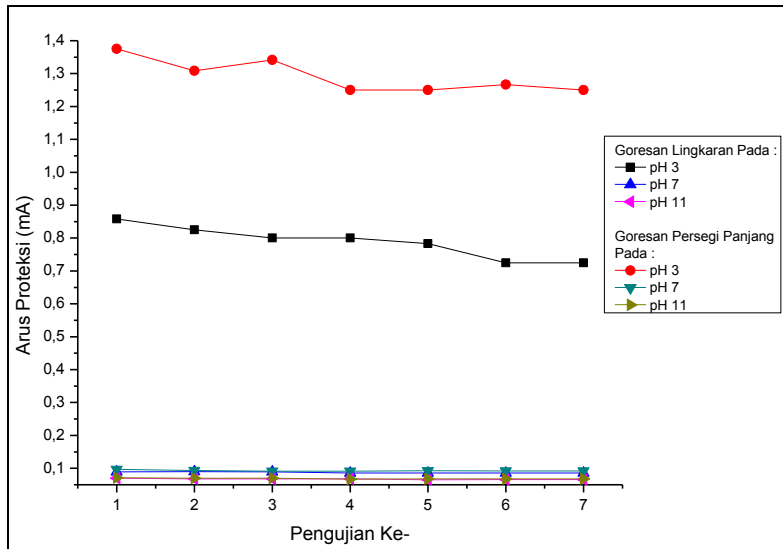


**Gambar IV.5.** Grafik Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan  $150 \text{ mm}^2$  Berbentuk Lingkaran dan Persegi Panjang dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11

Pengukuran dilakukan untuk menganalisa adanya pengaruh arus proteksi terhadap lingkungan tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11 untuk spesimen baja AISI 1045 dengan luas goresan sebesar  $150 \text{ mm}^2$  berbentuk lingkaran dan persegi panjang. Dapat dilihat pada gambar IV.5., pada tanah dengan pH 11 arus proteksi yang dibutuhkan untuk goresan berbentuk lingkaran antara 0,051-0,055 mA dengan rata-rata sebesar 0,053 mA dan goresan berbentuk persegi panjang antara 0,053-0,06 mA dengan rata-rata sebesar 0,056 mA. Kemudian pada tanah dengan pH 7 arus proteksi yang dibutuhkan untuk goresan berbentuk lingkaran antara 0,074-0,084 mA dengan rata-rata sebesar 0,078 mA dan goresan berbentuk persegi panjang antara 0,075-0,081 mA dengan rata-rata sebesar 0,077mA. Sedangkan pada tanah dengan pH 3 arus proteksi yang dibutuhkan untuk goresan berbentuk lingkaran antara 0,433-0,6 mA dengan rata-rata sebesar 0,515 mA dan goresan berbentuk persegi panjang antara 0,683-0,758 mA dengan rata-rata sebesar 0,712 mA. Berdasarkan data yang telah disebutkan diatas, arus proteksi yang terbesar terdapat pada lingkungan tanah dengan pH 3 yaitu sebesar 0,712 mA dan arus proteksi yang terkecil terdapat pada lingkungan tanah dengan pH 11 yaitu sebesar 0,053 mA. Faktor bentuk goresan pada lapis lindung juga berpengaruh pada besarnya arus proteksi yang dibutuhkan oleh baja. Dengan mengacu pada gambar IV.5., goresan dengan bentuk persegi panjang memiliki kecenderungan untuk membutuhkan arus proteksi yang lebih besar daripada bentuk lingkaran.



#### IV.3.1.6. Hasil Pengukuran Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 250 mm<sup>2</sup>



**Gambar IV.6.** Grafik Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 250 mm<sup>2</sup> Berbentuk Lingkaran dan Persegi Panjang dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11

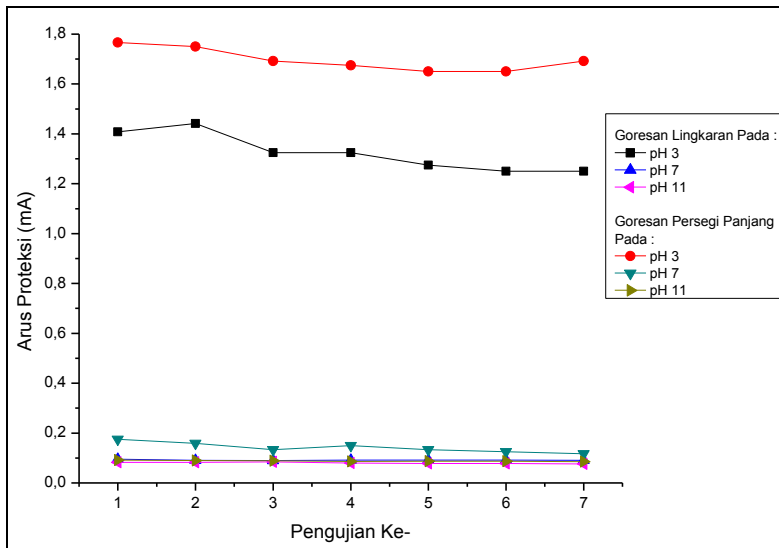
Pengukuran dilakukan untuk menganalisa adanya pengaruh arus proteksi terhadap lingkungan tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11 untuk spesimen baja AISI 1045 dengan luas goresan sebesar 250 mm<sup>2</sup> berbentuk lingkaran dan persegi panjang. Dapat dilihat pada gambar IV.6., pada tanah dengan pH 11 arus proteksi yang dibutuhkan untuk goresan berbentuk lingkaran antara 0,065-0,07 mA dengan rata-rata sebesar 0,067 mA dan goresan berbentuk persegi panjang antara 0,067-0,071 mA dengan rata-rata sebesar 0,069 mA. Kemudian pada tanah dengan pH 7 arus proteksi yang dibutuhkan untuk goresan berbentuk lingkaran antara 0,086-0,09 mA dengan rata-rata sebesar 0,087 mA dan goresan berbentuk persegi panjang antara





0,091-0,097 mA dengan rata-rata sebesar 0,093 mA. Sedangkan pada tanah dengan pH 3 arus proteksi yang dibutuhkan untuk goresan berbentuk lingkaran antara 0,725-0,858 mA dengan rata-rata sebesar 0,788 mA dan goresan berbentuk persegi panjang antara 1,25-1,375 mA dengan rata-rata sebesar 1,292 mA. Berdasarkan data yang telah disebutkan diatas, arus proteksi yang terbesar terdapat pada lingkungan tanah dengan pH 3 yaitu sebesar 1,292 mA dan arus proteksi yang terkecil terdapat pada lingkungan tanah dengan pH 11 yaitu sebesar 0,067 mA. Faktor bentuk goresan pada lapis lindung juga berpengaruh pada besarnya arus proteksi yang dibutuhkan oleh baja. Dengan mengacu pada gambar IV.6., goresan dengan bentuk persegi panjang memiliki kecenderungan untuk membutuhkan arus proteksi yang lebih besar daripada bentuk lingkaran.

#### IV.3.1.7. Hasil Pengukuran Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan 500 mm<sup>2</sup>



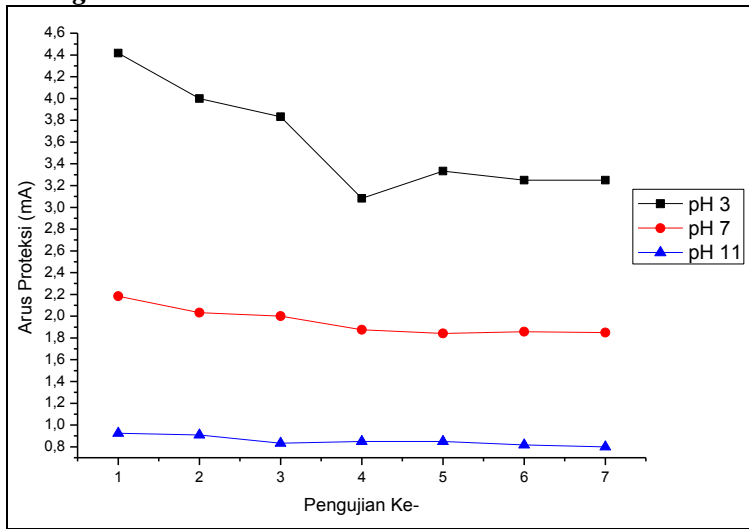


**Gambar IV.7.** Grafik Arus Proteksi Baja dengan Luas Goresan  $500 \text{ mm}^2$  Berbentuk Lingkaran dan Persegi Panjang dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11

Pengukuran dilakukan untuk menganalisa adanya pengaruh arus proteksi terhadap lingkungan tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11 untuk spesimen baja AISI 1045 dengan luas goresan sebesar  $500 \text{ mm}^2$  berbentuk lingkaran dan persegi panjang. Dapat dilihat pada gambar IV.7., pada tanah dengan pH 11 arus proteksi yang dibutuhkan untuk goresan berbentuk lingkaran antara 0,076-0,084 mA dengan rata-rata sebesar 0,08 mA dan goresan berbentuk persegi panjang antara 0,085-0,092 mA dengan rata-rata sebesar 0,088. Kemudian pada tanah dengan pH 7 arus proteksi yang dibutuhkan untuk goresan berbentuk lingkaran antara 0,09-0,095 mA dengan rata-rata sebesar 0,092 mA dan goresan berbentuk persegi panjang antara 0,117-0,175 mA dengan rata-rata sebesar 0,142 mA. Sedangkan pada tanah dengan pH 3 arus proteksi yang untuk goresan berbentuk lingkaran antara 1,25-1,442 mA dengan rata-rata sebesar 1,325 mA dan goresan berbentuk persegi panjang antara 1,65-1,767 mA dengan rata-rata sebesar 1,696 mA. Berdasarkan data yang telah disebutkan diatas, arus proteksi yang terbesar terdapat pada lingkungan tanah dengan pH 3 yaitu sebesar 1,696 mA dan arus proteksi yang terkecil terdapat pada lingkungan tanah dengan pH 11 yaitu sebesar 0,08. Faktor bentuk goresan pada lapis lindung juga berpengaruh pada besarnya arus proteksi yang dibutuhkan oleh baja. Dengan mengacu pada gambar IV.7., goresan dengan bentuk persegi panjang memiliki kecenderungan untuk membutuhkan arus proteksi yang lebih besar daripada bentuk lingkaran.

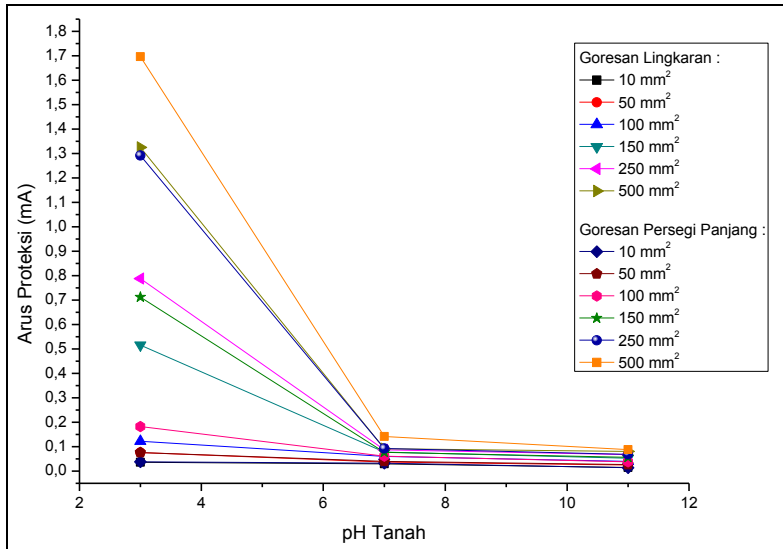


#### IV.3.1.8. Hasil Pengukuran Arus Proteksi Baja dengan Tanpa Coating



**Gambar IV.8.** Grafik Arus Proteksi Baja dengan Tanpa diberi Coating dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11

Pengukuran dilakukan untuk menganalisa adanya pengaruh arus proteksi terhadap lingkungan tanah dengan pH 3, pH 7, dan pH 11 untuk spesimen baja AISI 1045 tanpa diberi *coating*. Dapat dilihat pada gambar IV.8., pada tanah dengan pH 11 arus proteksi yang dibutuhkan antara 0,8-0,925 mA dengan rata-rata sebesar 0,855 mA. Kemudian pada tanah dengan pH 7 arus proteksi yang dibutuhkan antara 1,842-2,183 mA dengan rata-rata sebesar 1,949 mA. Sedangkan pada tanah dengan pH 3 arus proteksi yang dibutuhkan antara 3,083-4,417 mA dengan rata-rata sebesar 3,595 mA. Berdasarkan data yang telah disebutkan diatas, arus proteksi yang terbesar terdapat pada lingkungan tanah dengan pH 3 yaitu sebesar 3,595 mA dan arus proteksi yang terkecil terdapat pada lingkungan tanah dengan pH 11 yaitu sebesar 0,855 mA.



**Gambar IV.9.** Grafik Pengaruh Arus Proteksi Terhadap Kondisi pH Tanah

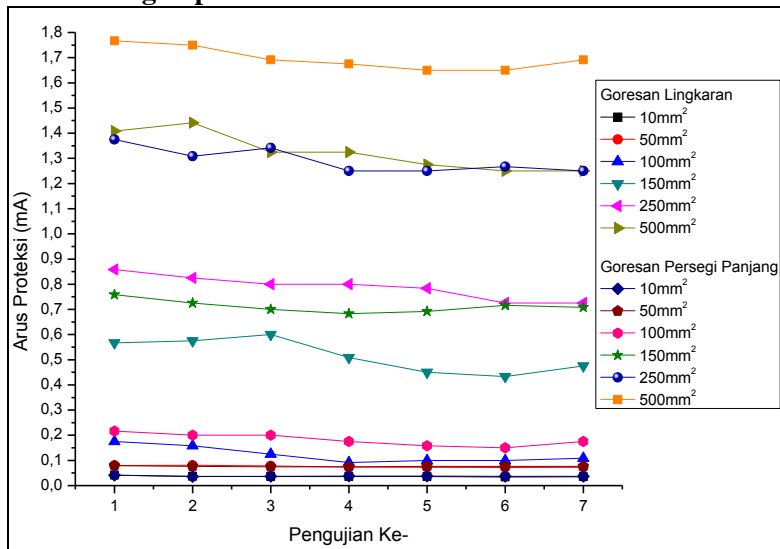
Dengan mengacu pada gambar IV.1. sampai dengan gambar IV.8. maka dilakukan rata-rata nilai arus proteksi dari pengukuran selama 7 hari. Kemudian hasil dari nilai rata-rata tersebut diplotkan kedalam grafik yang akan digunakan untuk menganalisa kebutuhan arus proteksi terhadap kondisi derajat keasaman tanah secara keseluruhan seperti yang dipaparkan pada gambar IV.9. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan instalasi ICCP didalam tanah dengan nilai pH yang semakin asam maka dibutuhkan nilai arus proteksi yang semakin tinggi, sebaliknya apabila kondisi tanah memiliki kecenderungan menuju ke daerah basa maka arus proteksi yang dibutuhkan semakin kecil.



### IV.3.2. Perbandingan Hasil Pengukuran Arus Proteksi Terhadap Luas Goresan

Analisa data yang dilakukan dengan meneliti adanya pengaruh luas cacat goresan yang berbeda-beda yaitu  $10 \text{ mm}^2$ ,  $50 \text{ mm}^2$ ,  $100 \text{ mm}^2$ ,  $150 \text{ mm}^2$ ,  $250 \text{ mm}^2$ ,  $500 \text{ mm}^2$  dengan bentuk lingkaran dan persegi panjang terhadap kebutuhan arus proteksi sistem ICCP didalam tanah. Selain itu juga menggunakan baja yang seluruhnya diberi *coating* dan tidak diberi *coating*, hal ini bertujuan sebagai arus pembanding untuk luas cacat goresan yang lainnya. Hasil yang didapatkan berdasarkan nilai rata-rata dari 3 kali pengulangan data. Kemudian pengambilan data dilakukan selama 7 hari, didapatkan nilai arus proteksi yang dibutuhkan masing-masing spesimen adalah sebagai berikut :

#### IV.3.2.1. Hasil Pengukuran Arus Proteksi dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3



**Gambar IV.10.** Grafik Arus Proteksi dalam Lingkungan Tanah dengan pH 3



Pada kondisi lingkungan yang sama yaitu pada tanah dengan pH 3, dilakukan pengukuran arus proteksi untuk menganalisa adanya pengaruh terhadap perbedaan luas cacat goresan yang terdapat pada baja AISI 1045. Kemudian analisa juga dilanjutkan dengan memperhatikan faktor bentuk cacat goresnya yaitu bentuk lingkaran dan persegi panjang. Pada gambar IV.10. cacat goresan dengan bentuk lingkaran membutuhkan arus proteksi antara 0,034-0,041 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,036 mA untuk luas cacat gores 10 mm<sup>2</sup>, 0,072-0,081 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,076 mA untuk luas cacat gores 50 mm<sup>2</sup>, 0,092-0,175 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,123 mA untuk luas cacat gores 100 mm<sup>2</sup>, 0,433-0,6 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,515 mA untuk luas cacat gores 150 mm<sup>2</sup>, 0,725-0,858 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,788 mA untuk luas cacat gores 250 mm<sup>2</sup>, dan 1,25-1,442 mA dengan nilai rata-rata sebesar 1,325 mA untuk luas cacat gores 500 mm<sup>2</sup>.

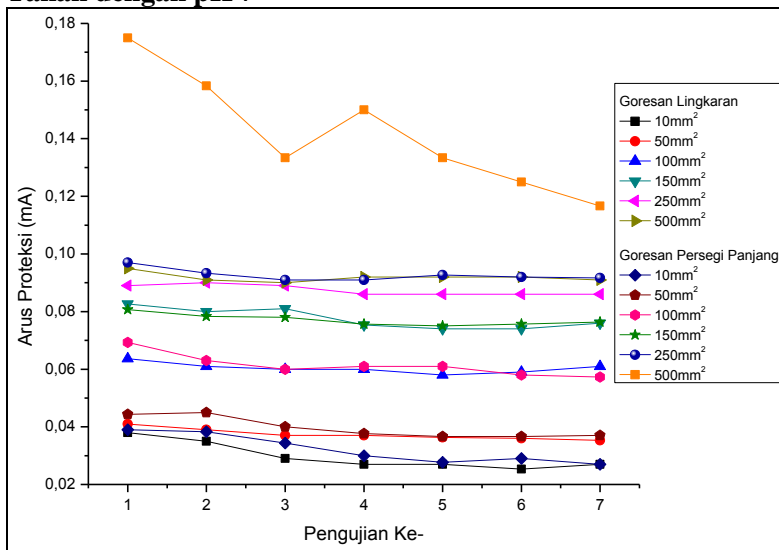
Selanjutnya untuk cacat goresan dengan bentuk persegi panjang membutuhkan arus proteksi antara 0,036-0,041 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,037 mA untuk luas cacat gores 10 mm<sup>2</sup>, 0,075-0,079 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,076 untuk luas cacat gores 50 mm<sup>2</sup>, 0,15-0,217 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,182 untuk luas cacat gores 100 mm<sup>2</sup>, 0,683-0,758 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,712 mA untuk luas cacat gores 150 mm<sup>2</sup>, 1,25-1,375 mA dengan nilai rata-rata sebesar 1,292 mA untuk luas cacat gores 250 mm<sup>2</sup>, dan 1,65-1,767 mA dengan nilai rata-rata sebesar 1,696 mA untuk luas cacat gores 500 mm<sup>2</sup>. Sebagai nilai pembanding, arus yang dibutuhkan untuk baja yang tertutup oleh *coating* seluruhnya antara 0,021-0,025 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,023 mA. Sedangkan untuk baja yang tidak diberi *coating* sama sekali nilai arus proteksi yang dibutuhkan antara 3,083-4,417 mA dengan nilai rata-rata sebesar 3,595 mA.

Berdasarkan data yang telah disebutkan diatas, arus proteksi terbesar terdapat pada baja dengan luas cacat goresan



500 mm<sup>2</sup> dengan nilai sebesar 1,696 mA. Sedangkan untuk kebutuhan arus proteksi terkecil terdapat pada baja dengan luas cacat goresan 10 mm<sup>2</sup> dengan nilai sebesar 0,036 mA. Faktor bentuk goresan pada lapis lindung juga berpengaruh pada besarnya arus proteksi yang dibutuhkan oleh baja. Dengan mengacu pada gambar IV.10., goresan dengan bentuk persegi panjang memiliki kecenderungan untuk membutuhkan arus proteksi yang lebih besar daripada bentuk lingkaran.

#### IV.3.2.2. Hasil Pengukuran Arus Proteksi dalam Lingkungan Tanah dengan pH 7



**Gambar IV.11.** Grafik Arus Proteksi dalam Lingkungan Tanah dengan pH 7

Pada kondisi lingkungan yang sama yaitu pada tanah dengan pH 7, dilakukan pengukuran arus proteksi untuk menganalisa adanya pengaruh terhadap perbedaan luas cacat goresan yang terdapat pada baja AISI 1045. Kemudian analisa



juga dilanjutkan dengan memperhatikan faktor bentuk cacat goresnya yaitu bentuk lingkaran dan persegi panjang. Pada gambar IV.11. cacat goresan dengan bentuk lingkaran membutuhkan arus proteksi antara 0,025-0,038 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,03 mA untuk luas cacat gores 10 mm<sup>2</sup>, 0,035-0,041 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,037 mA untuk luas cacat gores 50 mm<sup>2</sup>, 0,058-0,064 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,06 mA untuk luas cacat gores 100 mm<sup>2</sup>, 0,074-0,083 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,078 mA untuk luas cacat gores 150 mm<sup>2</sup>, 0,086-0,09 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,087 mA untuk luas cacat gores 250 mm<sup>2</sup>, dan 0,09-0,095 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,092 mA untuk luas cacat gores 500 mm<sup>2</sup>.

Selanjutnya untuk cacat goresan dengan bentuk persegi panjang membutuhkan arus proteksi antara 0,027-0,039 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,032 mA untuk luas cacat gores 10 mm<sup>2</sup>, 0,037-0,045 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,04 mA untuk luas cacat gores 50 mm<sup>2</sup>, 0,057-0,069 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,061 mA untuk luas cacat gores 100 mm<sup>2</sup>, 0,075-0,081 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,077 mA untuk luas cacat gores 150 mm<sup>2</sup>, 0,091-0,097 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,093 mA untuk luas cacat gores 250 mm<sup>2</sup>, dan 0,117-0,175 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,142 mA untuk luas cacat gores 500 mm<sup>2</sup>. Sebagai nilai pembanding, arus yang dibutuhkan untuk baja yang tertutup oleh *coating* seluruhnya antara 0,011-0,02 dengan nilai rata-rata sebesar 0,014 mA. Sedangkan untuk baja yang tidak diberi *coating* sama sekali nilai arus proteksi yang dibutuhkan antara 1,842-2,183 mA dengan nilai rata-rata sebesar 1,949 mA.

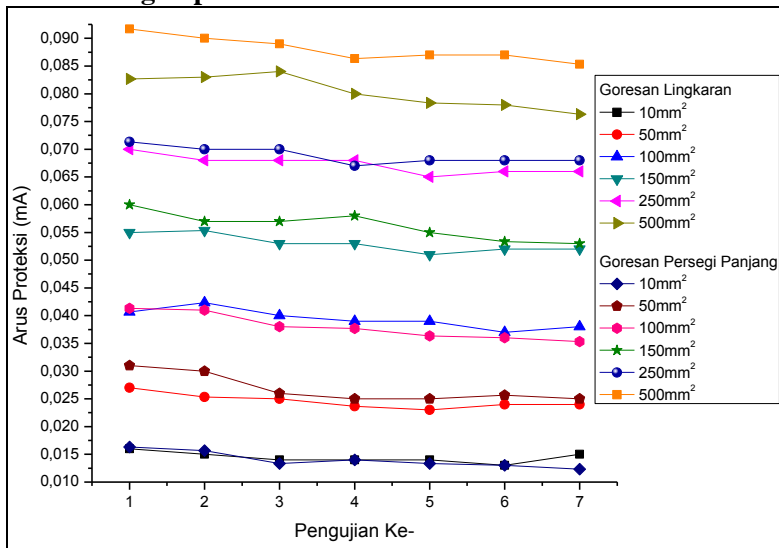
Berdasarkan data yang telah disebutkan diatas, arus proteksi terbesar terdapat pada baja dengan luas cacat goresan 500 mm<sup>2</sup> dengan nilai sebesar 0,142 mA. Sedangkan untuk kebutuhan arus proteksi terkecil terdapat pada baja dengan luas cacat goresan 10 mm<sup>2</sup> dengan nilai sebesar 0,03. Faktor bentuk





goresan pada lapis lindung juga berpengaruh pada besarnya arus proteksi yang dibutuhkan oleh baja. Dengan mengacu pada gambar IV.11., goresan dengan bentuk persegi panjang memiliki kecenderungan untuk membutuhkan arus proteksi yang lebih besar daripada bentuk lingkaran.

#### IV.3.2.3. Hasil Pengukuran Arus Proteksi dalam Lingkungan Tanah dengan pH 11



**Gambar IV.12.** Grafik Arus Proteksi dalam Lingkungan Tanah dengan pH 11

Pada kondisi lingkungan yang sama yaitu pada tanah dengan pH 11, dilakukan pengukuran arus proteksi untuk menganalisa adanya pengaruh terhadap perbedaan luas cacat goresan yang terdapat pada baja AISI 1045. Kemudian analisa juga dilanjutkan dengan memperhatikan faktor bentuk cacat goresnya yaitu bentuk lingkaran dan persegi panjang. Pada gambar IV.12. cacat goresan dengan bentuk lingkaran



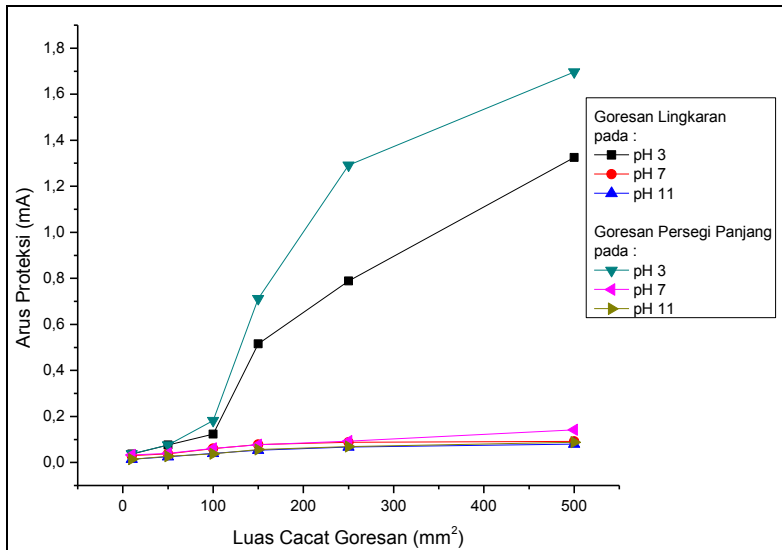
membutuhkan arus proteksi antara 0,013-0,016 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,014 mA untuk luas cacat gores 10 mm<sup>2</sup>, 0,023-0,027 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,025 mA untuk luas cacat gores 50 mm<sup>2</sup>, 0,037-0,042 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,039 mA untuk luas cacat gores 100 mm<sup>2</sup>, 0,051-0,055 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,053 mA untuk luas cacat gores 150 mm<sup>2</sup>, 0,065-0,07 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,067 mA untuk luas cacat gores 250 mm<sup>2</sup>, dan 0,076-0,084 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,08 untuk luas cacat gores 500 mm<sup>2</sup>.

Selanjutnya untuk cacat goresan dengan bentuk persegi panjang membutuhkan arus proteksi antara 0,012-0,016 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,014 mA untuk luas cacat gores 10 mm<sup>2</sup>, 0,025-0,031 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,027 mA untuk luas cacat gores 50 mm<sup>2</sup>, 0,035-0,041 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,038 mA untuk luas cacat gores 100 mm<sup>2</sup>, 0,053-0,06 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,056 mA untuk luas cacat gores 150 mm<sup>2</sup>, 0,067-0,071 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,069 mA untuk luas cacat gores 250 mm<sup>2</sup>, dan 0,085-0,092 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,088 mA untuk luas cacat gores 500 mm<sup>2</sup>. Sebagai nilai pembanding, arus yang dibutuhkan untuk baja yang tertutup oleh *coating* seluruhnya antara 0,003-0,006 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,004. Sedangkan untuk baja yang tidak diberi *coating* sama sekali nilai arus proteksi yang dibutuhkan antara 0,8-0,925 mA dengan nilai rata-rata sebesar 0,855 mA.

Berdasarkan data yang telah disebutkan diatas, arus proteksi terbesar terdapat pada baja dengan luas cacat goresan 500 mm<sup>2</sup> dengan nilai sebesar 0,088 mA. Sedangkan untuk kebutuhan arus proteksi terkecil terdapat pada baja dengan luas cacat goresan 10 mm<sup>2</sup> dengan nilai sebesar 0,014 mA. Faktor bentuk goresan pada lapis lindung juga berpengaruh pada besarnya arus proteksi yang dibutuhkan oleh baja. Dengan mengacu pada gambar IV.12., goresan dengan bentuk persegi



panjang memiliki kecenderungan untuk membutuhkan arus proteksi yang lebih besar daripada bentuk lingkaran.



**Gambar IV.13.** Grafik Pengaruh Arus Proteksi Terhadap Variasi Cacat Goresan

Pada gambar IV.10. sampai dengan gambar IV.12. menunjukkan hubungan antara nilai proteksi terhadap variasi cacat goresan dengan pengukuran selama 7 hari. Langkah akhir untuk menentukan adanya pengaruh yang terjadi dapat melakukan rata-rata nilai arus proteksi tersebut. Kemudian hasil yang diperoleh diplotkan kedalam grafik yang akan digunakan untuk menganalisa kebutuhan arus proteksi terhadap variasi cacat goresan pada lapis lindung secara keseluruhan seperti yang dipaparkan pada gambar IV.13. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa dengan adanya goresan yang terdapat pada baja dapat mengakibatkan timbulnya korosi sehingga diperlukan arus proteksi untuk melindungi baja tersebut. Semakin besar luas cacat



goresan yang terjadi pada baja maka akan semakin besar pula kebutuhan arus proteksi yang digunakan. Selain itu, ternyata faktor bentuk goresan pada lapis lindung juga berpengaruh pada nilai arus proteksinya. Dengan membandingkan dua bentuk cacat goresan yang berbeda, dapat dilihat cacat goresan dengan bentuk persegi panjang cenderung untuk membutuhkan arus proteksi yang lebih besar dibandingkan dengan cacat goresan yang berbentuk lingkaran. Hal ini dapat disebabkan karena adanya perbedaan konsentrasi tegangan yang terdapat pada sudut-sudut persegi panjang sehingga dapat menimbulkan *pitting corrosion*/korosi sumuran.

#### **IV.4. Analisa Hasil Pengukuran Arus Proteksi dengan Menggunakan Metode Statistika**

Analisa kebutuhan arus proteksi terhadap pH tanah dan variasi cacat goresan dilanjutkan dengan menggunakan metode statistika. Hal ini dilakukan agar analisa yang telah dilakukan dapat disajikan lebih sistematis dan kuantitatif. Selain itu, metode ini juga dapat memungkinkan untuk melakukan peramalan pada suatu data. Untuk melakukan perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan metode regresi. Yaitu dengan menguji antara faktor penyebab (x) terhadap *response*/faktor akibatnya (y).

##### **IV.4.1. Nilai Rata-Rata Kebutuhan Arus Proteksi**

Sebelum melakukan perhitungan dengan metode regresi, maka dibutuhkan nilai rata-rata arus proteksi baja pada kondisi derajat keasaman lingkungan tanah dan variasi cacat goresan yang berbeda-beda. Berikut ini nilai rata-rata arus proteksi pada masing-masing baja :

**Tabel IV.5.** Nilai Rata-Rata Kebutuhan Arus Proteksi Baja pada Kondisi Tanah dengan pH 3

pH Tanah	Bentuk Goresan	Luas Goresan (mm <sup>2</sup> )	Arus Proteksi (mA)
----------	----------------	---------------------------------	--------------------



3	Tanpa Goresan	0	0,023
	Lingkaran	10	0,036
		50	0,076
		100	0,123
		150	0,515
		250	0,788
		500	1,325
	Persegi Panjang	10	0,038
		50	0,076
		100	0,182
		150	0,712
		250	1,292
		500	1,696
	Tanpa Coating	6911,5	3,595

**Tabel IV.6.** Nilai Rata-Rata Kebutuhan Arus Proteksi Baja pada Kondisi Tanah dengan pH 7

pH Tanah	Bentuk Goresan	Luas Goresan (mm <sup>2</sup> )	Arus Proteksi (mA)
7	Tanpa Goresan	0	0,014
	Lingkaran	10	0,030
		50	0,037
		100	0,060
		150	0,078
		250	0,087
		500	0,092
	Persegi Panjang	10	0,032
		50	0,040
		100	0,061



		150	0,077
		250	0,093
		500	0,142
	Tanpa Coating	6911,5	1,949

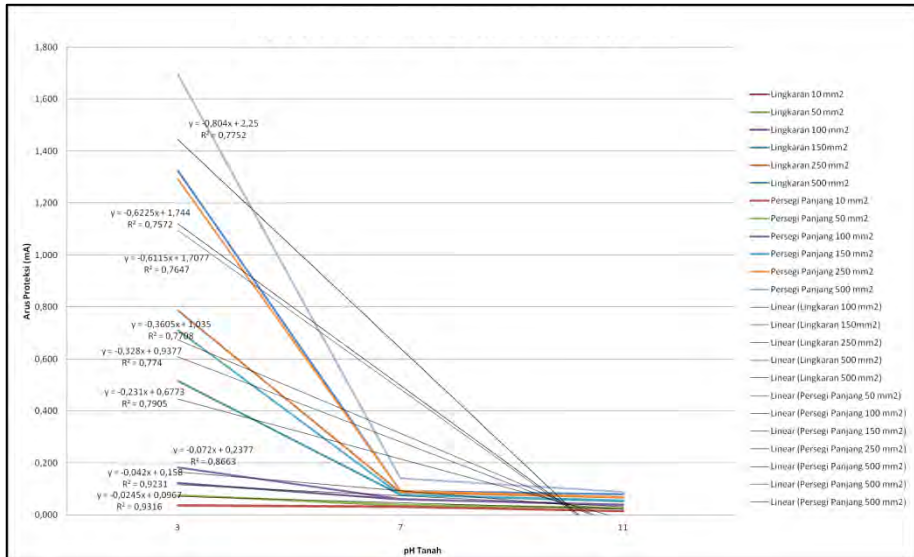
**Tabel IV.7.** Nilai Rata-Rata Kebutuhan Arus Proteksi Baja pada Kondisi Tanah dengan pH 11

pH Tanah	Bentuk Goresan	Luas Goresan (mm <sup>2</sup> )	Arus Proteksi (mA)
11	Tanpa Goresan	0	0,004
	Lingkaran	10	0,014
		50	0,025
		100	0,039
		150	0,053
		250	0,067
		500	0,080
	Persegi Panjang	10	0,014
		50	0,027
		100	0,038
		150	0,056
		250	0,069
		500	0,088
	Tanpa Coating	6911,5	0,855



#### IV.4.2. Persamaan Regresi Linier Sederhana

Regresi linier berfungsi untuk menguji sejauh mana hubungan sebab akibat antara faktor penyebab (x) terhadap variabel akibatnya (y). Faktor penyebab yang digunakan adalah kondisi pH tanah dan variasi cacat goresan, sedangkan variabel akibatnya adalah arus proteksi yang dibutuhkan.

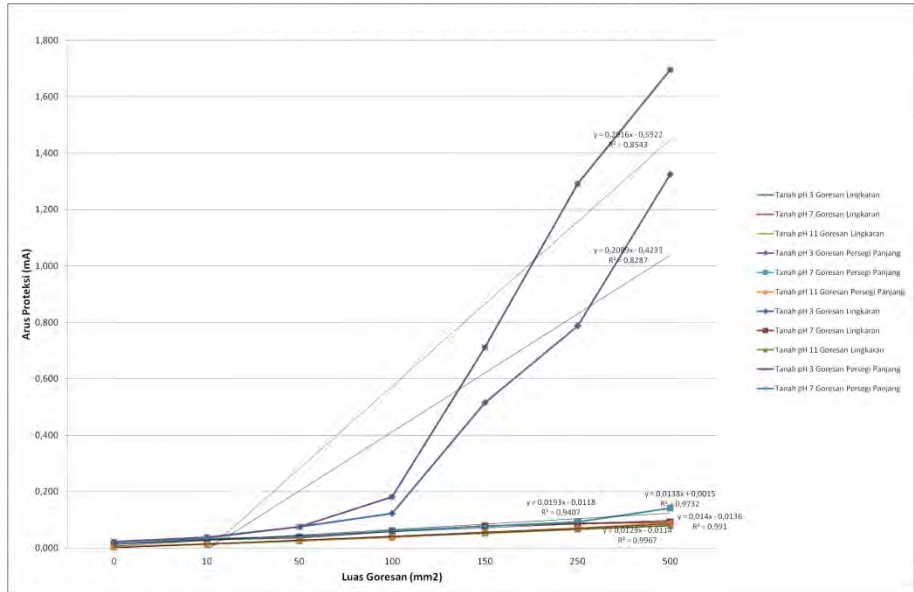


**Gambar IV.14.** Regresi Linier Kebutuhan Arus Proteksi Terhadap pH Tanah

Pada gambar IV.14. menunjukkan persamaan linier dari pengaruh kondisi pH tanah terhadap arus proteksi dari masing-masing luas goresan. Dengan masing-masing goresan yang diberikan pada lapis lindung memiliki nilai  $R^2$  sebesar 93,16% untuk luas 10 mm<sup>2</sup>; 92,31% untuk luas 50 mm<sup>2</sup>; 79,05% untuk luas 100 mm<sup>2</sup>; 77,08% untuk luas 150 mm<sup>2</sup>; 75,72% untuk luas 250 mm<sup>2</sup>; dan 77,52% untuk luas 500 mm<sup>2</sup>. Hal ini membuktikan



bahwa terdapat pengaruh yang kuat pada kondisi pH tanah yang berbeda-beda terhadap nilai arus proteksinya.



**Gambar IV.15.** Regresi Linier Kebutuhan Arus Proteksi Terhadap Variasi Cacat Goresan

Pada gambar IV.15. menunjukkan persamaan linier dari pengaruh variasi cacat goresan terhadap arus proteksi dari masing-masing kondisi pH tanah. Untuk pH tanah 3 nilai  $R^2$  sebesar 85,43% dengan goresan berbentuk persegi panjang, sedangkan nilai  $R^2$  sebesar 82,87% dengan goresan berbentuk lingkaran. Untuk pH tanah 7 nilai  $R^2$  sebesar 94,07% dengan goresan berbentuk persegi panjang, sedangkan nilai  $R^2$  sebesar 97,32% dengan goresan berbentuk lingkaran. Untuk pH tanah 11 nilai  $R^2$  sebesar 99,1% dengan goresan berbentuk persegi panjang, sedangkan nilai  $R^2$  sebesar 99,67% dengan goresan berbentuk





lingkaran. Dengan nilai  $R^2$  yang sangat tinggi maka dapat dinyatakan bahwa variasi cacat goresan memberikan pengaruh yang sangat kuat terhadap arus proteksinya.

#### IV.4.3. Persamaan Regresi Berganda

Analisa regresi linier berganda digunakan untuk mengukur pengaruh antara lebih dari satu variabel sebab terhadap variabel akibat. Pada penelitian ini yang bertindak sebagai variabel sebab adalah pH tanah dan variasi cacat gores, sedangkan yang bertindak sebagai variabel akibat adalah kebutuhan arus proteksi. Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan II.24 hingga II.26 maka didapatkan hasil regresi berganda untuk luasan berbentuk lingkaran sebagai berikut :

$$Y = 0,144 + 0,017 X_1 + 0,0004 X_2 \quad (IV.1)$$

Sedangkan persamaan regresi berganda untuk luasan berbentuk persegi panjang sebagai berikut :

$$Y = 0,11 + 0,008 X_1 + 0,0004 X_2 \quad (IV.2)$$

Persamaan ini dapat diaplikasikan untuk penentuan kebutuhan arus proteksi ICCP pada kombinasi dari kondisi tanah dengan pH 3 hingga pH 7 dan variasi cacat goresan dengan bentuk lingkaran maupun persegi panjang dalam rentan luas 0 mm<sup>2</sup> hingga 6908 mm<sup>2</sup>.

#### IV.4.4. Uji Korelasi Pearson

Pengujian ini digunakan untuk menggambarkan arah dan kuatnya hubungan antara variabel pH tanah dan variasi cacat goresan terhadap kebutuhan arus proteksi. Dengan menggunakan persamaan II.9 maka didapatkan korelasi sebagai berikut :

**Tabel IV.8.** Hasil Uji Korelasi dengan Metode Pearson

	<i>pH Tanah</i> ( $x_1$ )	<i>Luas Goresan</i> ( $x_2$ )	<i>Arus Proteksi</i> ( $y$ )
pH Tanah ( $x_1$ )	1		
Luas Goresan ( $x_2$ )	0	1	
Arus Proteksi ( $y$ )	-0,38069972	0,735161602	1

Berdasarkan hasil uji korelasi dengan metode pearson seperti pada tabel IV.8., didapatkan nilai korelasi pearson pada kondisi pH tanah terhadap arus proteksinya sebesar -0,381. Nilai negatif disini merupakan hubungan yang berkebalikan. Dengan semakin tingginya pH tanah (menuju ke daerah basa) maka arus proteksi yang diperlukan akan semakin kecil.

Berbeda halnya dengan variasi cacat goresan, nilai *pearson correlation* yang dimiliki berhubungan positif terhadap arus proteksinya yaitu sebesar 0,735. Artinya semakin besar luas cacat goresan pada lapis lindung maka kebutuhan arus proteksinya juga harus semakin tinggi. Berdasarkan pada interpretasi koefisien korelasi yang telah dijelaskan sebelumnya, maka hubungan antara kondisi pH tanah dengan kebutuhan arus proteksi memiliki kategori yang sedang sebesar 0,381 ( $0,2 < r < 0,4$ ). Sedangkan untuk variabel variasi cacat goresan terhadap kebutuhan arus memiliki hubungan yang kuat yaitu sebesar 0,735 ( $0,6 < r < 0,8$ )

#### II.4.5. Uji Korelasi Berganda

Fungsi dari pengujian ini ialah menggambarkan arah dan kuatnya hubungan antara variabel pH tanah serta variasi cacat goresan secara bersama-sama terhadap variabel kebutuhan arus proteksinya. Dengan menggunakan nilai korelasi pada tabel IV.8. didapatkan nilai  $r_{y1}=-0,381$ ,  $r_{y2}=0,735$ , dan  $r_{12}=0$ . Persamaan yang



digunakan untuk mengukur korelasi berganda dengan menggunakan persamaan II.28

Perhitungan yang dilakukan mendapatkan nilai korelasi berganda sebesar 0,828. Artinya pengaruh yang ditimbulkan oleh kedua variabel ini sangatlah kuat, sehingga apabila pH tanah dan variasi cacat goresan memiliki nilai yang tinggi maka secara otomatis nilai arus proteksi yang dibutuhkan akan semakin tinggi. Adapun kontribusi secara simultan kedua variabel tersebut sebesar :  $(0,828)^2 \times 100\% = 69\%$ .

#### **IV.4.6. Uji Signifikan Simultan**

Untuk menunjukkan variabel pH tanah dan variasi cacat goresan yang dipilih mempunyai pengaruh secara bersamaan terhadap arus proteksinya maka dibutuhkan pengujian signifikan simultan dengan persamaan II.32

Dimana :

R : koefisien korelasi ganda (0,828)

k : banyaknya variabel independen (3)

n : banyaknya anggota sampel (42)

Dengan melihat pada tabel F pada lampiran, dengan  $d_{f1}=2$  dan  $d_{f2}=39$  didapatkan nilai  $F=33,357 > \text{Tabel } F$ . Maka nilai variabel pH tanah dan variasi cacat goresan mempunyai pengaruh secara bersama-sama secara signifikan terhadap arus proteksinya.



#### IV.5. Hasil Foto Makro



**Gambar IV.16.** Kondisi Spesimen dengan Bentuk Cacat Gores Persegi Panjang dalam Lingkungan Tanah pH 3



**Gambar IV.17.** Kondisi Spesimen dengan Bentuk Cacat Gores Persegi Panjang dalam Lingkungan Tanah pH 7



**Gambar IV.18.** Kondisi Spesimen dengan Bentuk Cacat Gores Persegi Panjang dalam Lingkungan Tanah pH 11



**Gambar IV.19.** Kondisi Spesimen dengan Bentuk Cacat Gores Lingkaran dalam Lingkungan Tanah pH 3



**Gambar IV.20.** Kondisi Spesimen dengan Bentuk Cacat Gores Lingkaran dalam Lingkungan Tanah pH 7



**Gambar IV.21.** Kondisi Spesimen dengan Bentuk Cacat Gores Lingkaran dalam Lingkungan Tanah pH 11



#### IV.6. Pembahasan

Pada penelitian ini memiliki tujuan untuk menentukan adanya pengaruh yang terjadi antara kondisi pH tanah dan variasi cacat goresan pada lapis lindung terhadap kebutuhan arus proteksi dengan menggunakan sistem *impressed current cathodic protection* (ICCP). Spesimen yang digunakan adalah baja AISI 1045 sebanyak 42 buah, 39 diantaranya dilapisi dengan lapis lindung dan 3 spesimen tidak diberi lapis lindung sama sekali. Dari 39 spesimen dengan lapis lindung, 36 diantaranya diberikan goresan dengan bentuk lingkaran dan persegi panjang kemudian diberikan luas ukuran 10 mm<sup>2</sup>, 50 mm<sup>2</sup>, 100 mm<sup>2</sup>, 150 mm<sup>2</sup>, 250 mm<sup>2</sup>, dan 500 mm<sup>2</sup>. Sisanya 3 spesimen tidak diberikan goresan. Spesimen yang tidak diberikan lapis lindung dan tidak diberi goresan digunakan sebagai pembanding. Untuk jenis coating/lapis lindung yang diberikan pada spesimen menggunakan *zink chromate* dan *epoxy filler*. Pemilihan jenis *coating* ini bertujuan untuk pencegahan terhadap korosi sehingga spesimen terhindar dari kontaminan yang ada. Adapun pemberian dengan 2 lapis lindung sekaligus dapat mencegah adanya degradasi dari lapisan lain sehingga pori-pori pada permukaan benar-benar tertutup rapat selain dari cacat goresan yang sengaja dibuat. Karena apabila terjadi degradasi pada lapisan *coating* dapat mempengaruhi hasil percobaan. Semua spesimen yang akan diuji dimasukkan kedalam kondisi tanah dengan pH yang berbeda-beda yaitu pada pH 3 (asam), pH 7 (netral), dan pH 11 (basa).

Setelah rangkaian selesai dipasang maka dilakukan pengondisian awal pada spesimen dan mengukur potensial awal yang berfungsi untuk mengetahui nilai potensial sebelum dan sesudah instalasi ICCP yang selanjutnya dapat digunakan sebagai patokan untuk menentukan arus proteksi yang dibutuhkan pada



masing-masing spesimen. Sesuai dengan standard NACE TM0169-2000 "*Laboratory Corrosion Testing of Metals*" pengukuran dilakukan setiap hari selama 7 hari dengan mengatur nilai potensial yang bekerja berada pada -850mV dimana baja berada pada keadaan yang terproteksi. Metode pengukuran yang digunakan mengacu kepada *half-cell potensial* (potensial elektroda setengah sel) dengan elektroda acuan Cu/CuSO<sub>4</sub>.

Penelitian berlanjut dengan menganalisa komposisi kimia dari spesimen baja AISI 1045 terlebih dahulu. Standar uji yang digunakan mengacu pada JIS G 1253 : 2002. Kadar Fe yang dimiliki cukup tinggi yaitu 98,66%. Dengan tingkat kemurnian Fe yang tinggi ini membuat spesimen memiliki kekuatan dan kekerasan yang cukup tinggi pula. Unsur lain yang dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatannya adalah unsur karbon. Namun pada pengujian dengan spektrometer timbul ketidaksesuaian hasil pada unsur karbon tersebut. Berdasarkan pada standar yang dikeluarkan oleh AISI dan SAE (*Society of Automotive Engineers*), unsur karbon yang dimiliki adalah 0,4%-0,45% sedangkan hasil dari pengujian spektrometri mencapai 0,012%. Hal ini dapat disebabkan pada preparasi sampel yang kurang baik sehingga dapat mempengaruhi hasil pengujiannya. Kemudian dalam baja yang akan diaplikasikan sebagai baja konstruksi ini dibutuhkan unsur yang memiliki ketahanan terhadap korosi dan abrasi. Salah satu unsur tersebut ialah Cr dan Mn yang memiliki persentase masing-masing 0,058% dan 0,005%. Nilai persentase tersebut tergolong sangat kecil sehingga kemungkinan untuk timbulnya korosi sangat besar. Oleh karena itu, diperlukan proteksi katodik yang berfungsi sebagai penghambat laju korosinya. Salah satu metodenya adalah dengan





sistem *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP), sebagaimana yang digunakan pada penelitian ini.

Setelah melakukan analisa pada komposisi kimia baja tersebut, langkah selanjutnya adalah pengukuran awal untuk membandingkan kebutuhan nilai arus proteksi terhadap kondisi pH tanahnya. Dengan kondisi cacat goresan yang sama, kebutuhan arus proteksi semakin meningkat seiring dengan menurunnya kondisi pH tanah (daerah asam). Pada kondisi baja yang tidak tertutup oleh lapis lindung, arus proteksi pada kondisi tanah dengan pH 3 membutuhkan 3,595 mA. Sedangkan pada pH 7 membutuhkan arus 1,949 mA dan untuk pH 11 membutuhkan arus 0,855 mA. Selisih kenaikan arus proteksi yang dibutuhkan cukup tinggi. Dari tanah dengan kondisi basa (pH 11) menuju ke kondisi yang netral (pH 7) terjadi peningkatan sebesar 56,13%. Sedangkan tanah dengan kondisi netral (pH 7) menuju ke kondisi yang asam (pH 3) terjadi peningkatan sebesar 45,79%. Peningkatan kebutuhan arus proteksi ini dapat disebabkan karena pada kondisi tanah yang memiliki  $pH < 5$  atau berada pada daerah yang asam maka akan memiliki tingkat agresifitas korosi yang sangat tinggi. Sehingga untuk melindungi baja tersebut diperlukan keluaran arus proteksi yang besar pula. (Bofardi,1995)

Pengukuran arus proteksi dilanjutkan dengan membandingkan terhadap variasi cacat goresan yang diberikan. Pada kondisi pH tanah yang sama, semakin besar luas goresan yang diberikan pada baja maka akan semakin besar pula arus proteksi yang diberikan. Sebagai contoh pada kondisi tanah dengan pH 7, telah diberikan cacat goresan dengan luasan  $10 \text{ mm}^2$ ,  $50 \text{ mm}^2$ ,  $100 \text{ mm}^2$ ,  $150 \text{ mm}^2$ ,  $250 \text{ mm}^2$ , dan  $500 \text{ mm}^2$ . Arus yang diberikan secara berturut-turut adalah 0,032 mA; 0,04 mA; 0,061 mA; 0,077 mA; 0,093 mA; dan 0,142 mA. Hal ini dapat



terjadi akibat adanya daerah pada permukaan logam yang terekspose langsung dengan lingkungannya. Sehingga dapat mengakibatkan terjadinya reaksi oksidasi yang berlanjut dengan adanya inisiasi korosi. Oleh karena itu dibutuhkan pasokan elektron yang semakin tinggi guna menghindari terjadinya korosi yang lebih parah. (J.Wu, 2009)

Dari hasil foto makro spesimen, terlihat peningkatan pola korosi pada baja AISI 1045 dengan bentuk goresan persegi panjang maupun lingkaran. Berdasarkan variasi luas cacat goresan, terjadi peningkatan tingkat korosi yang timbul pada spesimen dengan luas goresan kecil hingga spesimen tanpa *coating*. Terlihat pada kondisi pH tanah yang sama, lapisan berwarna coklat kehitaman terbentuk dipermukaan spesimen dengan kondisi cacat goresan dari luasan  $10 \text{ mm}^2$  hingga spesimen yang tidak diberi *coating* sama sekali. Selain itu pada kondisi tanah yang semakin meningkat pH tanahnya maka produk korosi yang timbul juga akan semakin banyak.



*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1. Kesimpulan**

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Terdapat pengaruh yang ditimbulkan oleh kondisi pH tanah yang berbeda-beda terhadap kebutuhan arus proteksinya. Dengan membandingkan pada luas cacat goresan yang sama, arus proteksi yang dibutuhkan pada baja akan semakin turun dengan meningkatnya derajat keasaman tanah dari pH 3 (asam), pH 7 (netral), dan pH 11 (basa)
2. Terdapat pengaruh yang ditimbulkan oleh variasi cacat goresan pada lapis lindung terhadap nilai arus proteksi yang diberikan pada baja. Pada kondisi pH tanah yang sama, arus proteksi yang dibutuhkan cenderung meningkat seiring meluasnya cacat goresan yang diberikan

#### **V.2. Saran**

1. Menggunakan variasi cacat goresan dan pH tanah yang lebih banyak yang berguna untuk mempermudah analisa distribusi yang lebih normal.



*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*



## LAMPIRAN

### LAMPIRAN A HASIL UJI SPEKTROMETER



**BADAN PENGKAJIAN KEBIJAKAN IKLIM DAN MUTU INDUSTRI  
BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI SURABAYA  
LABORATORIUM PENGUJIAN DAN KALIBRASI  
BARISTAND INDUSTRI SURABAYA**

Jl. Jagir Wonokromo No. 360 Surabaya (60244), Telp. (031) 8410054, (031) 7000034, Fax. (031) 8410480  
<http://surabaya.bpkimi.kemendperin.go.id/>

Nomor Analisa : P 119  
Jenis Sampel : Baja  
Ukuran : Diameter 19 mm, Tebal 4,5 mm

Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji	Metoda uji
Uji Komposisi Kimia :			JIS G 1253 : 2002
C	%	0.01159	
Si	%	0.00215	
Mn1	%	0.00593	
P	%	0.00103	
S	%	0.00159	
Cu	%	0.01817	
Ni1	%	0.02602	
Cr1	%	0.05821	
Mo	%	0.01590	
Al	%	0.00435	
Fe	%	98.659	

Catatan : - Sampel diuji sesuai permintaan  
- Pengujian Menggunakan Optical Emission Spectrometer PDA – 7000





## LAMPIRAN B

### Perhitungan Volume Tanah

Luas Permukaan Katoda

$$SA = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot (r+t)$$

$$SA = 2 \times 3.14 \times 10 \times (10+100)$$

$$SA = 6908 \text{ mm}^2 = 69,08 \text{ cm}^2$$

Berdasarkan NACE Standard TM 0169-95, rasio minimum yang dianjurkan untuk volume tanah (elektrolit) terhadap luas permukaan spesimen adalah **20 mL/cm<sup>2</sup>**

-Volume tanah minimum untuk 1 spesimen:

$$\begin{aligned} V_{\text{elektrolit}} &= 20 \text{ mL/cm}^2 \times 69,08 \text{ cm}^2 \\ &= 1381,6 \text{ mL} = \pm 1,4 \text{ L} \end{aligned}$$

- Volume tanah minimum untuk 4 spesimen (1 elektrolit):

$$\begin{aligned} V_{\text{elektrolit}} &= 4 \times 1,4 \text{ L} \\ &= 5,6 \text{ L} \end{aligned}$$

Dalam percobaan ini, volume elektrolit yang digunakan sebesar 1,4 liter untuk setiap spesimen. Sehingga untuk satu box yang berisi 4 spesimen, dibutuhkan volume tanah sebanyak 5,6 liter.

### Perhitungan HCl dan NaOH yang dibutuhkan

pH tanah yang digunakan pada percobaan ini adalah pH 3, pH 7, dan pH 11 :

(1) Perhitungan pH 3

$$\begin{aligned} V_{\text{campuran}} &= V_{\text{tanah}} + V_{\text{air}} \\ &= 5,6 \text{ L} + 1,4 \text{ L} \\ &= 7 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{HCl}} &= (M_{\text{aquades}} \cdot V_{\text{aquades}}) / M_{\text{HCl}} \\ &= (10^{-3} \text{ M} \times 1,4 \text{ L}) / 1 \text{ M} \\ &= 1,4 \times 10^{-3} \text{ L} = 1,4 \text{ mL} \end{aligned}$$



## (2) Perhitungan pH 11

$$\begin{aligned}V_{\text{campuran}} &= V_{\text{tanah}} + V_{\text{air}} \\&= 5,6 \text{ L} + 1,4 \text{ L} \\&= 7 \text{ L}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{\text{HCl}} &= (M_{\text{aquades}} \cdot V_{\text{aquades}}) / M_{\text{HCl}} \\&= (10^{-3} \text{ M} \times 1,4 \text{ L}) / 1 \text{ M} \\&= 1,4 \times 10^{-3} \text{ L} = 1,4 \text{ mL}\end{aligned}$$





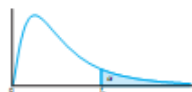
## LAMPIRAN C

## Tabel Nilai Distribusi F

Table A.6 F-Distribution Probability Table

741

Table A.6 Critical Values of the F-Distribution



		$f_{0.05}(v_1, v_2)$								
		$v_1$								
$v_2$		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	
$\infty$	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	

Reproduced from Table 18 of *Biometrika Tables for Statisticians*, Vol. I, by permission of E.S. Pearson and the Biometrika Trustees.



## DAFTAR PUSTAKA

- ASM Metal Handbook Vol.13 9<sup>th</sup> ed. *Corrosion*. ASM International Handbook Committee
- A,W,Peabody. 2001. *Control of Pipeline Corrosion*. Edited by Ronald L Bianchetti. Texas: NACE International the Corrosion Society.
- Bard, Allen J., Faulkner, Larry R. 2000. *Electrochemical Methods : Fundamental and Appllications 2 Edition*. New York : John Wiley & Sons.Inc
- Berkeley, K.B.C. Pathmananaban, S. 1998. *Cathodic Protection of Reinforced Steel in Concrete*, Butterworths, Oxford
- Bofardi, B.P. 1995. *Control of Environmental Variables in Water Recirculating Systems*. New Jersey : Noyes Publication
- Callister, William. D. Jr,. 2001. *Fundamentals of Materials Science and Engineering*. Fifth Edition. USA: John Wiley & Sons.Inc
- Chamberlain, J.,Trethewey,KR. 1991. *Korosi*. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama
- Dermantoro, Moch. Novian. 2012. *Pengaruh Variasi Bentuk dan Ukuran Goresan pada Lapis Lindung Polietilena Terhadap Sistem Proteksi Katodik Anoda Tumbal Paduan Alumunium pada Baja AISI 1045 di Lingkungan Air Laut*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- Fontana, Mars G. 1996. *Corrosion Engineering 2<sup>nd</sup> Edition*. Singapore: McGraw-Hill International.
- G. Wranglen, B. Sjodin, and B. Wallen. *A New test method for graphite anodes in alkali chloride electrolysis*. *Electrochimica Acta*, Vol. 7, pp.577 to 587
- Glyn, et.al. 2001. *Physical Metallurgy of Steel*. Class Notes and Lecture Material. ForMSE 651.01
- Hariwidjaja, O. 1980. *Pengantar Fisika Tanah*. Departemen Ilmu Tanah Institut Pertanian Bogor.



- Holmberg, K. and Matthews Allan. 2009. *Coatings Tribology : Properties, Mechanisms, Techniques and Application in Surface Engineering*. Amsterdam : Elsevier B. V. All right reserved
- James B. Bushman, P. E. *Impressed Current Cathodic Protection System Design*. Medina Ohio USA: Bushman & Associates, Inc.
- Jones, Denny A. 2005. *Principles and Prevention of Corrosion*. USA : Pearson-Prentice Hall
- Lingga, P. Dan Marsono. 2001. *Petunjuk Penggunaan Pupuk*. Jakarta:Penebar Swadaya
- Lowenheim, Frederick A. 1978. *Electroplating : Fundamentals of Surface Finishing*. Singapore : McGraw-Hill International
- M. H. Loke. 2000. *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies*. Malaysia : Universiti Sains Malaysia
- Moetangad K., Ade. 2006. Fisika – Mekanika Tanah ; *Keteknikan dan Teknologi Pertanian*. FTIP. Unpad.
- Prajnanta, F. 2008. *Seri Agrisolusi : Mengatasi Permasalahan bertanam Cabai*. Jakarta:Penebar Swadaya
- Raddatz, K. 2011. *Paint Problems and Solutions*. Modeltech.Inc
- Roberge, Pierre, R,. 2000. *Handbook of Corrosion Engineering*. USA: The Mc.Graw-Hill Companies Inc.
- Schweitzer, Philip A. 2007. *Fundamental of Metallic Corrosion*. USA : CRC Press Media
- Shobah, Moch. Nurus. 2014. *Pengaruh Goresan Lapis Lindung dan Salinitas Air Laut Terhadap Arus Proteksi Sistem Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) pada Baja API 5L Grade B*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- Shreir, L.L. 2000. *Corrosion Vol.2 Corrosion control*. Great Britain: Butterworth-Heinemann



- Shreir, L.L. 1994. *Corrosion Vol.1 3rd edition. Metal/Environment Reactions*. Great Britain: Butterworth-Heinemann
- Sutedjo, M. M., A. G. Kartasapoetra. 2002. *Pengantar Ilmu Tanah*. Jakarta : Penerbit Bhineka Cipta
- Sugiyono. 2007. *Statistika untuk Penelitian*. Jakarta : Alfabeta
- Trisnaningtyas, Rizky Ayu. 2010. *Analisa Desain Sistem Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) pada Offshore Pipeline milik JOB Pertamina-Petrochina East Java*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- Walpole, Ronald E. 2011. *Probability Statistics for Engineering and Scientists*.
- Wu, J. Xing, S. Yun, F. 2009. *The Influence of Coating Damage on The ICCP Effect*. Luoyang Ship Material Research Institute, P.R. China



*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Faris Putra Ardiansyah, dilahirkan di Surabaya pada tanggal 10 September 1993. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Pendidikan formal yang pernah ditempuh oleh penulis yaitu SDN Pabean 3, SMP Negeri 1 Waru, dan SMA Negeri 1 Waru. Setelah lulus pada tingkat SMA, penulis melanjutkan pendidikan menuju ke perguruan tinggi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS Surabaya pada tahun 2011 dan terdaftar dengan NRP 2711100135. Selama menjalani perkuliahan penulis aktif mengikuti kegiatan akademik dan organisasi. Pada kegiatan akademik, penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Fisika Material. Kemudian penulis pernah menjadi anggota dari Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT FTI-ITS) pada tahun 2012. Selain itu penulis juga aktif dalam kegiatan kerohanian Lembaga Dakwah Ash-Habul Kahfi dengan jabatan Staff Departemen Syiar dan menjadi Badan Pengurus Harian-Bendahara Umum pada tahun 2013-2014. Pengalaman kerja yang pernah dilakukan oleh penulis pada bulan Juli 2014 di Departemen Bonding and Composite, Direktorat Produksi PT. Dirgantara Indonesia (Persero) Bandung. Penulis menutup kuliah di kampus dengan mengerjakan Tugas Akhir yang berjudul ***“Pengaruh pH Tanah dan Variasi Cacat Gores Lapis Lindung Terhadap Kebutuhan Arus Proteksi Sistem Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) pada Baja AISI 1045”***.

Email : faris\_ardiansyah19@yahoo.com